

SENSOR-BASIERTE ANALYSE
MULTIMODALER STURZASSOZIIERTER FAKTOREN
BEI GERIATRISCHEN PARKINSONPATIENTEN

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

von B.A. Anna Krebs
geboren am 3. Januar 1992 in Schwerin

Gutachter

1. PD Dr. med. habil. Tino Prell, Jena
2. PD Dr. med. Carsten Klingner, Jena
3. Prof. Dr. med. Walter Maetzler, Kiel

Tag der öffentlichen Verteidigung: 3. November 2020

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Inklusionsverweis	V
Zusammenfassung	VI
1 Einleitung	1
1.1 Epidemiologie und Symptome des idiopathischen Parkinsonsyndroms	1
1.2 Gangassozierte Veränderungen des idiopathischen Parkinsonsyndroms ..	2
1.3 Stürze und Sturzrisikofaktoren bei geriatrischen Parkinsonpatienten	3
1.4 Messung motorischer Sturzrisikofaktoren	7
2 Ziele der Arbeit.....	10
3 Methodik.....	11
3.1 Stichprobe.....	11
3.2 Klinische Assessments	12
3.2.1 MDS-Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale.....	12
3.2.2 Modifizierte Hoehn & Yahr Staging Scale	13
3.2.3 Non-motor-Symptoms-Questionnaire.....	13
3.2.4 Sturzanamnese	14
3.2.5 Fall Risk Questionnaire nach Rubenstein	17
3.2.6 Beck Depression Inventar II	19
3.2.7 Minimal Nutritional Assessment und Serumalbumin	19
3.2.8 Mini-Mental-Status-Test und Montreal-Cognitive-Assessment.....	20
3.3 Motorische Assessments	21
3.3.1 Modifizierter Romberg	23
3.3.2 30-Second-Sit-to-Stand-Test.....	24
3.3.3 Timed-up-and-go-Test.....	24
3.3.4 Ganganalyse	25
3.4 Statistische Auswertung.....	26
4 Ergebnisse	27
4.1 Deskriptive Daten der Stichprobe	27
4.2 Sturzanamnese und Sturzrisiko	28
4.3 Ganganalyseparameter in Bezug zur Normalbevölkerung.....	30
4.4 Gruppenvergleich klinischer Parameter	31
4.4.1 Sturzrisiko	31

4.4.2	Depression	32
4.4.3	Malnutrition	32
4.4.4	Kognition	32
4.5	Gruppenvergleich motorischer Parameter	34
4.5.1	Modifizierter Romberg	34
4.5.2	Timed-up-and-go-Test	35
4.5.3	30-Second-Sit-to-Stand-Test	35
4.5.4	Ganganalyse	35
4.6	Sturzprädiktoren	37
4.6.1	Binäre logistische Regression sturzassoziierter Parameter	37
5	Diskussion	40
5.1	Häufigkeit und Umstände von Stürzen	40
5.2	Klinische Sturfaktoren	40
5.3	Funktionelle, gleichgewichts- und gangassoziierte Sturfaktoren	43
5.4	Kritische Betrachtung der Methodik	47
6	Schlussfolgerungen	51
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	52
8	Anhang	61
8.1	Abbildungsverzeichnis	61
8.2	Tabellenverzeichnis	62
8.3	Danksagung	63
8.4	Ehrenwörtliche Erklärung	64

Abkürzungsverzeichnis

Auslenkung a-p	Auslenkung in anterior-posteriorer Richtung
Auslenkung m-l	Auslenkung in medio-lateraler Richtung
B	nicht-standardisierter Regressionskoeffizient B
BDI	Beck Depression Inventar
BMI	Body Mass Index
Exp (B)	standardisierter Regressionskoeffizient β
FRQ	Fall Risk Questionnaire
HL	Hosmer-Lemeshow-Test
IPS	Idiopathisches Parkinsonsyndrom
IRQ	Interquartilrange (engl. für Interquartilenabstand)
KI	Konfidenzintervall
max.	maximal
MCI	Mild cognitive impairment (engl. für geringgradige kognitive Beeinträchtigung)
MDS	Movement Disorder Society
MMST	Mini-Mental-Status-Test
MNA	Minimal Nutritional Assessment
MoCA	Montreal-Cognitive-Assessment
MW	Mittelwert
N	Anzahl
NMS	Nicht-motorische Symptome
NMS-Quest	Non-motor Symptoms Questionnaire
R^2	R-Quadrat nach Nagelkerke
räuml.	räumlich
SD	Standard deviation (engl. für Standardabweichung)
SF	Standardfehler
UPDRS	Unified Parkinson's Disease Rating Scale
zeitl.	zeitlich

Inklusionsverweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit bei Personenbezeichnungen die männliche Form gewählt. Trotzdem beziehen sich jene Angaben auf Angehörige beider Geschlechter.

Zusammenfassung

Hintergrund: Gangstörungen und Stürze sind häufige Phänomene des idiopathischen Parkinsonsyndroms (IPS). Um die folgenschweren Stürze bei geriatrischen IPS-Patienten reduzieren zu können, ist die Kenntnis über Sturzprädiktoren und Risikofaktoren essenziell.

Fragestellung und Ziele: Ziel dieser Arbeit war es 1.) die Häufigkeit und die Umstände stattgefundener Stürze zu beschreiben, 2.) Unterschiede hinsichtlich klinischer und motorischer Parameter von Stürzenden im Vergleich zu Nicht-Stürzenden zu explorieren und 3.) geeignete Sturzprädiktoren zu bestimmen.

Methodik: Bei 40 älteren Parkinsonpatienten (> 70 Jahre) wurden die folgenden Parameter erfasst: Hoehn & Yahr Krankheitsstadium, Krankheitsschwere mittels MDS-Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) und Non-Motor-Symptoms-Questionnaire (NMS-Quest), Sturzrisiko nach Fall Risk Questionnaire (FRQ), Depression mittels Beck-Depression-Inventar II (BDI), Kognition mittels Montreal-Cognitive Assessment (MoCA) und Mini-Mental-Status-Test (MMST), Ernährungszustand mittels Mini-Nutritional Assessment (MNA-Langfassung) und Albumin im Serum sowie Umstände von etwaigen Stürzen mittels semistrukturiertem Interview. Zusätzlich wurden der Timed-up-and-go-Test und der 30-Second-Sit-to-Stand-Test zur Testung alltagsrelevanter Funktionen durchgeführt. Über am Körper platzierte Initialsensoren wurden Bewegungsmuster während des modifizierten Romberg-Tests und des Gehens über 50 Schritte erfasst. Unter Anwendung eines standardisierten Protokolls wurden u.a. die Gehgeschwindigkeit, Schritthöhe, Schrittlänge und Gangzyklusvariabilität bestimmt.

Ergebnisse: Innerhalb eines Jahres stürzten 63 % der Probanden (N = 25). Die meisten Stürze traten in der Häuslichkeit des Probanden (54 %, N = 13) und während des Gehens (33 %, N = 8) auf. Freezing trat in einem Drittel (N = 8) der Fälle vor dem Sturz auf. Die Gruppen der Stürzenden war klinisch gekennzeichnet durch eine höhere Krankheitsschwere (MDS-UPDRS gesamt), mehr nicht-motorische Symptome (NMS-Quest), mehr intrinsische und extrinsische Sturzrisikofaktoren sowie eine erhöhtes Sturzrisiko nach FRQ. Ebenfalls wiesen die Stürzenden eine größere Auslenkung im Romberg, eine längere Dauer des Timed-up-and-go-Tests, eine niedrigere Gehgeschwindigkeit sowie langsamere, kürzere und flachere Schritte auf. Beide Gruppen

unterschieden sich nicht hinsichtlich des Alters, der Anzahl der chronischen Erkrankungen, der Depression (BDI), der Mangelerkrankung (MNA) oder der Kognition (MMST, MoCA). Signifikante Prädiktoren für das Auftreten von Stürzen waren NMS-Quest, Auslenkung anterior-posterior und medio-lateral im modifizierten Romberg-Test, die Zeit im Timed-up-and-go-Test und die Gehgeschwindigkeit.

Diskussion: Die vermehrten Gang- und Gleichgewichtsbeeinträchtigungen der Stürzenden konnten nicht auf bestehende geriatrische Komorbiditäten (Malnutrition, Depression, Kognitionsstörungen) zurückgeführt werden, da die Gruppe der Nicht-Stürzenden gleichermaßen davon betroffen war. Dies stützt die These, dass die motorische Beeinträchtigung in Zusammenhang mit den stattgefundenen Stürzen der Sturzgruppe steht. Die ermittelten Prädiktoren konnten auch in anderen Studien belegt werden (Melzer et al. 2010, Applebaum et al. 2017, Nemanich et al. 2013).

Schlussfolgerungen: Da die überwiegenden Gleichgewichts- und Ganganalyseparameter nicht als Sturzprädiktoren geeignet zu sein scheinen, ist der Zusatzgewinn der sensorbasierten Bewegungsanalyse zur Erfassung des Sturzrisikos in der untersuchten Kohorte als gering einzuschätzen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das häusliche Umfeld ist nicht gegeben, weil die Erhebung unter stationären Bedingungen abgelaufen ist. Weitere Untersuchungen der motorischen Beeinträchtigung an größeren Stichprobenkollektiven könnte im ambulanten Setting die Gültigkeit der Prädiktoren dieser Studie überprüfen.

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie und Symptome des idiopathischen Parkinsonsyndroms

Das idiopathische Parkinsonsyndrom (IPS), Morbus Parkinson genannt, ist die zweithäufigste neurodegenerative Erkrankung nach der Alzheimer Demenz (Wirdefeldt et al. 2011). Bradykinese, Rigor und Ruhetremor sind die Kardinalsymptome des sehr heterogenen Krankheitsbildes (Hess und Hallett 2017), wobei mit fortgeschrittenem Krankheitsstadium die posturale Instabilität hinzukommt (Wirdefeldt et al. 2011, Beitz 2014, Hess und Okun 2016). Die mittlere Inzidenz steigt mit dem Alter der Betroffenen an, sodass jährlich unter den über 65-Jährigen 529 von 100 000 neu erkranken (Wirdefeldt et al. 2011). Bei Männern ist die Inzidenz 1,9-fach höher als bei Frauen (Wooten et al. 2004).

In diesem Absatz werden die *motorischen Symptome* des IPS genauer erläutert. Diese lassen sich bei der multisystemischen Erkrankung u.a. auf den Niedergang dopaminergischer Neurone in der Pars compacta der Substantia nigra und dem resultierenden Dopaminmangel im Striatum zurückführen. Studien zeigten, dass mit dem Beginn der motorischen Symptome bereits 50–70 % der Neurone der Substantia nigra degeneriert sind (Morrish et al. 1998). Die Progression der motorischen Symptome variiert individuell (Fritsch et al. 2012). Je nach Dominanz der Kardinalsymptome ergeben sich klinische Subtypen: akinetisch-rigider, tremor-dominanter, Misch-Typ und postural-instabiler Typ mit Gangbeeinträchtigung (Iijima et al. 2011). Die Bradykinese ist das Kernsymptom des IPS und ist zusammen mit einem weiteren Kardinalsymptom (Rigor oder Ruhetremor) die Voraussetzung für eine Diagnose nach den Movement-Disorder-Society (MDS)-Kriterien (Hess und Okun 2016, Postuma et al. 2015). Die Bradykinese beinhaltet die verlängerte Ausführung sowie die verspätete Initiierung von willkürlichen und unwillkürlichen Bewegungen (Hallett 2011). Der typische IPS-Tremor tritt in Ruhe und einseitig auf. Dabei kontrahieren antagonistische Muskeln rhythmisch in einer Frequenz zwischen 3,5 und 7 Hz. Vorrangig sind Hände, Füße oder das Kinn betroffen (Blaszczyk 1998). Der Rigor bezeichnet einen Widerstand, der unter passiver Durchbewegung eines Gelenkes als zähe Steifigkeit spürbar wird und dauerhaft als erhöhter Muskeltonus vorhanden ist (Hess und Hallett 2017). Vermindertes Mitschwingen der Arme während des Gehens und ein Gefühl von Steifigkeit sind zwei frühe

Anzeichen für einen Rigor bei einem IPS (Hess und Hallett 2017, Kwon et al. 2014a). Die posturale Instabilität zeichnet sich durch den Verlust von Halte- und Stellreflexen aus und ist typisch für ein fortgeschrittenes IPS (Hess und Okun 2016).

Neben den typischen motorischen Beschwerden ist das IPS durch zahlreiche *nicht-motorische Symptomen* (NMS) bestimmt, die vor allem bei älteren Patienten die Lebensqualität wesentlich bestimmen. Hierzu zählen ein vermindertes Riechvermögen, Obstipation, Sicca-Syndrome wie Augentrockenheit und Sehschärfeverluste, Schmerzen, Schlafstörungen, neuropsychiatrische Symptome wie kognitive Beeinträchtigung bis hin zur Demenz, Fatigue, Angst und Apathie (Barone et al. 2009, Shulman et al. 2002, Nowacka et al. 2014). Neben einer Depression findet sich gehäuft auch eine subsyndromale (auch Subthreshold-) Depression, die aufgrund ihrer Dauer und Intensität nicht die Kriterien für eine Major- oder Minor-Depression erfüllt (Chopra et al. 2005). Zu den autonomen Dysfunktionen gehört u.a. die orthostatische Hypotension, die bei bis zu 60 % der Patienten mit fortgeschrittenen IPS nachzuweisen ist (Hellman et al. 2015). Durch die gastrointestinale Dysfunktion kommt es zu Dysphagie, Gastroparese, mikrobiotischer Überbesiedelung des Dünndarms, Verstopfung und Defäkationsschwierigkeiten. Eine frühe Sättigung, Appetitlosigkeit, Übelkeit, Erbrechen, Gewichtsverlust, eine Magenüberdehnung und Blutungen können aus einer Gastroparese resultieren (Fasano et al. 2015). Schwierigkeiten beim Wasserlassen treten bei 25 - 50 % der Parkinsonkranken auf und können in den meisten Fällen auf eine Über- oder Unteraktivierung des Musculus detrusor vesicae zurückgeführt werden (Winge 2015). Sexuelle Dysfunktion existieren sowohl bei Männern als auch Frauen mit IPS (Pfeiffer 2016).

1.2 Gangassozierte Veränderungen des idiopathischen Parkinsonsyndroms

Mit dem IPS gehen Gang- und Gleichgewichtsveränderungen einher. Schon in frühen Stadien der Erkrankung tritt eine verringerte Gehgeschwindigkeit auf (Hess und Hallett 2017). Ein vermindertes Mitschwingen des Armes während des Gehens ist ebenfalls ein typisches Frühsymptom des IPS (Warlop et al. 2016). Mit fortschreitenden Stadien werden eine vorgebeugte Haltung mit Vorverlagerung des Körperschwerpunktes (Festination) und kompensatorisch kürzere, schnellere und schlurfende Schritte (Shuffling)

ersichtlich (Hess und Hallett 2017). Erkenntlich ist dies u.a. an einer reduzierten Doppelschrittlänge im Vergleich zu Gesunden (Salarian et al. 2004, Wahid et al. 2015). In engem Zusammenhang mit dieser Gangveränderung steht das Freezing. Hierbei ist es dem Betroffenen nicht möglich den Gang zu initiieren oder fortzusetzen, was oftmals als Festkleben der Füße am Boden empfunden wird. Dieses Symptom kann auch durch Beengungen wie Türrahmen, Stress, Dual-Tasking oder Drehungen hervorgerufen werden (Hess und Hallett 2017). Dabei beinhaltet Dual-Tasking das simultane Ausführen von zwei Tätigkeiten, die jeweils eine gewisse Aufmerksamkeit verlangen, z.B. Gehen und ein Tablett tragen. Dysrhythmokinese beschreibt eine gesteigerte Variabilität bei der Ausführung repetitiver Bewegungen. Dieses Symptom tritt nicht pathogomonisch beim IPS, sondern ebenfalls bei anderen Bewegungsstörungen auf, wenn die Abstimmung der An- und Entspannung von Agonist bzw. Antagonist beeinträchtigt abläuft (Hess und Hallett 2017). Verantwortlich dafür ist die Beeinträchtigung der Basalganglien, deren motorisches Output unrhythmische Bewegungsmuster ausgibt (Siragy und Nantel 2018). Dysrhythmokinese kann als ein Frühsymptom in den peripheren Extremitäten auftreten und sich in arhythmischen Finger- oder Fuß-Tapping oder einer hohen Gangzyklusvariabilität äußern. Eine hohe Gangzyklusvariabilität bedeute, dass die Schritte unregelmäßiger in ihrer Länge oder Dauer ausfallen (Hess und Hallett 2017). Eine Metanalyse von König und Kollegen konnte zeigen, dass unter IPS-Patienten die Variabilität der Doppelschrittlänge höher und die Variabilität der Schrittweite geringer als bei der gesunden Kontrollgruppe ausfällt (König et al. 2016).

1.3 Stürze und Sturzrisikofaktoren bei geriatrischen Parkinsonpatienten

Eine der größten gesundheitsbezogenen Herausforderungen der älteren Bevölkerung stellt das wachsende Auftreten von Stürzen dar (Gschwind et al. 2013). Dabei ist ein Sturz eine unerwartete oder unbeabsichtigte Veränderung der Position (Canning et al. 2014). Auch ein Vorgang, bei dem die fallende Person auf dem Boden oder einer niedrigeren Ebene zum Liegen kommt, ist als Sturz definiert (Lamb et al. 2005). Etwa jeder dritte der zu Hause lebenden älteren Erwachsenen (≥ 65 Jahre) stürzt innerhalb eines Jahres (Gschwind et al. 2013). Die Hälfte davon erlebt wiederkehrende Stürze. Die Prävalenz von Stürzen steigt mit dem Alter stetig an und die Komplikationen werden schwerwiegender. Unter den 75-Jährigen stürzen 60 % innerhalb eines Jahres, wovon

bei 10 % eine Fraktur oder ein Krankenhausaufenthalt die Folge ist (Rubenstein 2006). Unter den Parkinsonpatienten sind Stürze häufiger als unter den gesunden Gleichaltrigen. Etwa 70 % der IPS-Patienten stürzen innerhalb eines Jahres (Pickering et al. 2007b).

Auf die Folgen von Stürzen wird in diesem Abschnitt eingegangen. Die Lebensqualität von Parkinsonpatienten wird durch Stürze und den Verlust der Mobilität sowie der sozialen Aktivitäten maßgeblich negativ beeinflusst (Martinez-Martin 1998) (siehe Abbildung 1). Innerhalb von zehn Jahren nach der IPS-Diagnose erleiden 27 % der Betroffenen eine Hüftfraktur (Johnell et al. 1992). Die Angst vor weiteren Stürzen führt zu einer Reduktion der Aktivitäten des täglichen Lebens und folglich zu einer sozialen Abschottung (Bloem et al. 2004). Aus Immobilität resultieren Obstipation, Schlafstörungen, Pneumonien und über eine längere Zeitspanne auch Osteoporose mit einem erhöhten Frakturrisiko (Bloem et al. 2004). Stürze sind bei älteren Erwachsenen egal ob mit oder ohne IPS die häufigste Ursache für den Tod durch Verletzungen (Allyson Jones et al. 2012). Die weitreichenden Folgen von Stürzen zeigen, wie wichtig das Erkennen von Sturzrisiken und die anschließende therapeutische Intervention für die Betroffenen ist.

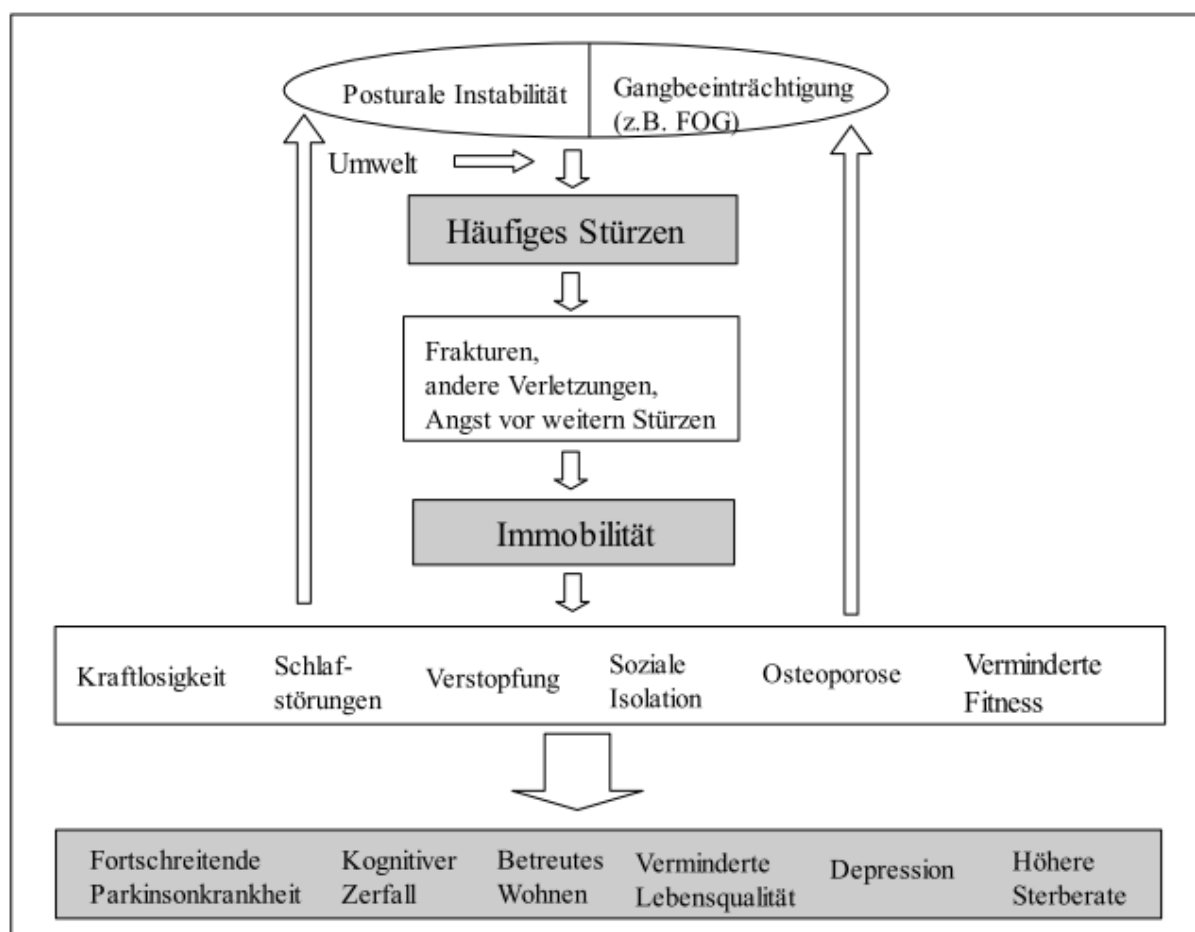


Abbildung 1. Folgen von Stürzen beim IPS (modifiziert nach Bloem 2004).

Ein Anstieg der Sturzprävalenz im Alter lässt sich auf die zunehmenden *geriatrischen Risikofaktoren* zurückführen (Rubenstein 2006). In der Literatur sind 400 Risikofaktoren für das Auftreten von Sturzereignissen beschrieben (Gschwind et al. 2013). Relevante intrinsische und extrinsische Risikofaktoren sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1. Intrinsische und extrinsische, geriatrische Sturzrisikofaktoren.

Intrinsische Risikofaktoren	Extrinsischen Risikofaktoren
Sehschwäche	Bodenbeschaffenheit
Schwäche des Vestibularorgans	Anwendungsfehler bei Gehhilfen
Propriozeptive Störungen	unangemessenes Schuhwerk
Muskelkraftverlust	schlechte Lichtverhältnisse
Hypotensive Blutdruckregulation	Ablenkung/ Dual-Tasking

Intrinsische Sturzrisikofaktoren gehen vom Individuum selbst aus und entstehen durch gesundheitliche Einschränkungen. Hierbei wird dem somatosensorischen System eine herausragende Bedeutung zugemessen, da eine Beeinträchtigung dessen zu posturaler Instabilität führen kann. Extrinsische Sturzrisikofaktoren gehen hingegen von der Umwelt aus. Eine Sehbehinderung erschwert das Anpassen des Ganges an externe Bedingungen, da Hindernisse übersehen werden. Bei den über 65-Jährigen leiden 28 % an einem Katarakt, einer Makuladegeneration oder einem Glaukom (Sturnieks et al. 2008). Über das Vestibularorgan kann die Lage des Kopfes im Raum wahrgenommen und korrigiert werden. Bei einem Drittel der über 70-Jährigen ist diese Funktion beeinträchtigt, was unter anderem mit Schwindel und verminderter posturaler Kontrolle einhergeht (Sturnieks et al. 2008). Propriozeptive Informationen von Rezeptoren der Gelenke, Sehnen und Muskeln senden afferent eine Bewegungsrückmeldung, welche zur Wahrnehmung und Feinjustierung von Bewegungen benötigt wird. Arthritis, Diabetes mellitus und Vitamin B12-Mangel können diese Feedback-Mechanismen und damit das Gleichgewicht beeinflussen (Sturnieks et al. 2008). Zwischen den 50. und 70. Lebensjahr verliert der Mensch etwa 30 % der Muskelkraft (Larsson et al. 1979). Dieser Muskelkraftverlust und ein vermindertes Gleichgewicht sind die häufigsten intrinsischen Sturzrisikofaktoren im Alter (Gschwind et al. 2013).

Es sind folgende *IPS-spezifische Risikofaktoren* bekannt: Frühere Stürze (Gostynski 2001, Kim et al. 2018), fortgeschrittene Krankheitsschwere bis zu einem MDS-UPDRS von 35 (Pickering et al. 2007b), eine hohe Levodopa-Dosis (Canning et al. 2014). Freezing sowie Gleichgewichts- und Kognitionsminderungen sind am stärksten mit dem Auftreten von Stürzen assoziiert (Kim et al. 2018). Zusätzlich ist bekannt, dass Demenz bei Morbus Parkinson für eine Beeinträchtigung des Gangbildes und Gleichgewichts sorgt und somit das Risiko für Stürze erhöht (Allan et al. 2005, Wood et al. 2002). Auch Immobilität, Muskelschwäche der unteren Extremität, Sturzangst und Schwierigkeiten in der Ausführung der Aktivitäten des täglichen Lebens gelten als Risikofaktoren, deren Zusammenhang zum Sturzrisiko als inkonsistent beschrieben wird (Canning et al. 2014, Kim et al. 2018). Das Alter und Geschlecht haben wahrscheinlich keinen Einfluss auf die Sturzwahrscheinlichkeit (Canning et al. 2014). Auch depressive Symptome können die motorische Beeinträchtigung verstärken (Kuhn et al. 1996) und so das Sturzrisiko erhöhen (Gostynski 2001). Ebenso tritt Mangelernährung unter IPS-

Patienten vermehrt auf und führt zu einer Verschlechterung des Allgemeinzustandes und einem erhöhten Sturzrisiko (Kashihara 2006, Fereshtehnejad et al. 2014a).

1.4 Messung motorischer Sturzrisikofaktoren

Um die Beeinträchtigung durch Gang- und Gleichgewichtsstörungen und das resultierende Sturzrisiko zu beurteilen und zu quantifizieren, gibt es verschiedene Methoden. Einfache alltagsnahe Funktionstest wie der Timed-up-and-go-Test oder der 30-Second-Sit-to-Stand-Test (siehe Abschnitt 3.3 Motorische Assessments) können kostengünstig und ohne technischen Aufwand unter standardisierten Bedingungen im klinischen Setting durchgeführt werden. Unter Laborbedingungen können motorische Variablen mit hoher Genauigkeit mithilfe von Laufbändern, Kraftmessplatten, videobasierter Analysen und/oder am Körper platzierter Sensoren erhoben werden. Es ist jedoch fraglich, inwiefern diese Messungen alltagsrelevante Gang- und Gleichgewichtsstörungen erfassen. Eine weitere Möglichkeit stellt die Analyse mittels tragbarer Sensoren dar, die sowohl unter Laborbedingungen wie auch in alltäglichen Situationen erfolgen kann. Dies ermöglicht eine unkomplizierte und valide Messung von Gang- und Gleichgewichtsstörungen (Del Din et al. 2017). Dabei lassen sich unter anderem die in Tabelle 2 aufgeführten Gang- und Gleichgewichtsparameter messen, die im Folgenden näher erläutert werden.

Tabelle 2. Messgrößen der Gang- und Gleichgewichtsanalyse.

Ganganalyse	Gleichgewichtsanalyse
Schritt-/Doppelschritt	Auslenkung
<ul style="list-style-type: none"> • Länge • Dauer 	<ul style="list-style-type: none"> • Anterior-posterior • Medio-lateral
Schrittweite	Schwankfläche
Maximale Schritthöhe/ Clearance	Jerk
Räumliche Gangzyklusvariabilität	
<ul style="list-style-type: none"> • Schritt-/Doppelschrittlänge • Schritthöhe 	
Zeitliche Gangzyklusvariabilität	
<ul style="list-style-type: none"> • Schritt-/Doppelschrittdauer 	

Bei *Gleichgewichtstests* können über einen Sensor, der auf Höhe des Körperschwerpunktes des Probanden befestigt wird, verschiedene Gleichgewichtsparameter erhoben werden. Der Sensor bewegt sich beim Stehen wie der Körperschwerpunkt des Patienten auf einer Bahn. Aus der Auslenkungsbewegung des Patienten kann somit die anterior-posteriore und medio-laterale Auslenkung, die Auslenkungsfläche und der Jerk (erste Ableitung der Rumpfbeschleunigung) berechnet werden. Dabei kann bei dem IPS ein vermehrtes Schwanken als ein Hinweis für eine posturale Instabilität betrachtet werden (Horak und Mancini 2013). Die Schwankfläche ist bei bereits gestürzten und älteren Menschen höher als bei jüngeren, nicht-gestürzten Probanden (Melzer et al. 2010). Somit ist eine hohe posturale Schwankung als Risikofaktor für Stürze denkbar. Außerdem steigt mit der Progression der Parkinsonerkrankung die Auslenkung, wobei die medio-laterale Auslenkung sensitiver für ein späteres Krankheitsstadium zu sein scheint als die anterior-posteriore (Mancini et al. 2012).

In Abbildung 2 ist ein *Gangzyklus* dargestellt. Dabei entspricht ein Gangzyklus dem Zeitraum von Aufsetzen des ersten Fußes (Referenzfuß), dem Schritt des anderen Beines bis zum erneuten Bodenkontakt des Referenzfußes. Die dabei zurück gelegte Strecke wird auch als Doppelschrittlänge bezeichnet. Als maximale Schritthöhe wird der maximale Abstand des Fußes vom Boden während der Schwungphase eines Schrittes bezeichnet.

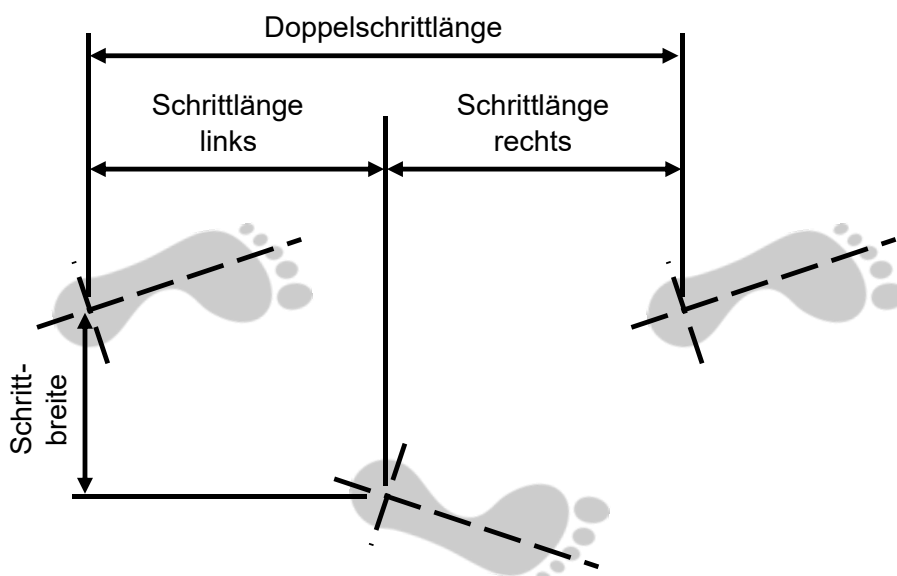


Abbildung 2. Maße eines Gangzyklus.

Aus der Literatur ist bekannt, dass eine verminderte Gehgeschwindigkeit mit einer erhöhten Gesamtmortalität assoziiert ist (Studenski et al. 2011). Die Arbeitsgruppe um Nemanich fand heraus, dass ein langsames Gangtempo mit dem Auftreten von Stürzen in signifikantem Zusammenhang steht (Nemanich et al. 2013). Bekannt ist, dass eine erhöhte zeitliche Gangvariabilität und asymmetrische Gangparameter prodromal noch vor der Diagnosestellung IPS bei Betroffenen auffällig sind (Del Din et al. 2019). Parkinsonpatienten, die unter Freezing leiden, zeigen eine höhere Gangzyklusvariabilität als Nicht-Freezer (Shah et al. 2018). Des Weiteren korreliert eine erhöhte Schrittlängenvariabilität mit einer erhöhten Sturzneigung (Hess und Hallett 2017). Da eine niedrige Schritthöhe das Hängenbleiben am Untergrund provoziert, stellt dieser Gangparameter einen weiteren Sturzrisikofaktor bei IPS-Patienten dar (Alcock et al. 2018).

2 Ziele der Arbeit

Ziel der Arbeit war es erstmals das Analysesystem RehaGait® zu nutzen, um Sturzfaktoren bei geriatrischen, stationär behandelten Parkinsonpatienten zu analysieren. Hierbei sollten klinische Parameter sowie Gangparameter im Hinblick auf ihren Vorhersagewert für Stürze verglichen werden. Langfristig kann die Kenntnis von Prädiktoren dazu beitragen, die Häufigkeit und die schwerwiegenden Folgen von Stürzen zu reduzieren, indem sturzpräventive Maßnahmen gezielter bei sturzgefährdeten Personen durchgeführt werden. Für diese Untersuchung wurden 40 Parkinsonpatienten ab einem Alter von 70 Jahren rekrutiert. Ziele der Querschnittstudie waren

- Die retrograde Erfassung von Häufigkeit und Umständen der stattgefundenen Stürze
- Detektion von Unterschieden zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden hinsichtlich bestehender Komorbiditäten sowie klinischer und motorischer Parameter
- Detektion von relevanten Sturzprädiktoren für geriatrische IPS-Patienten

3 Methodik

3.1 Stichprobe

Für die Studie wurden 40 Probanden (Alter > 70 Jahre) mit IPS eingeschlossen, die im Rahmen der stationären Parkinson-Komplextherapie in der Klinik für Neurologie des Universitätsklinikums Jena behandelt wurden. Die Diagnose IPS erfolgte durch erfahrene Neurologen anhand der MDS-Kriterien (Postuma et al. 2015). Ausschlusskriterien waren schwere psychiatrische Erkrankungen (Delir, Psychose, schwerste Demenz mit starker Beeinträchtigung der Kommunikationsfähigkeit) und eine maximale Gehstrecke von weniger als 100 m. Alle Untersuchungen erfolgten im medikamentösen On-Status. Die Studie erhielt ein positives Votum von der lokalen Ethikkommission des Universitätsklinikums Jena und jeder Proband gab sein schriftliches Einverständnis. Das Assessment umfasste allgemeine demographische sowie parkinsonspezifische, klinische Parameter, die der Tabelle 3 zu entnehmen sind, sowie eine detaillierte Gleichgewichts- und Ganganalyse mittels Rehagait®.

Tabelle 3. Übersicht klinischer und motorischer Assessments.

Krankheitsschwere	
MDS-UPDRS	MDS Unified Parkinson's Disease Rating Scale
H&Y	Hoehn & Yahr Staging Scale
NMS-Quest	Non-Motor-Symptoms-Questionnaire
Sturzgeschehen	
Sturzanamnese	Semistrukturiertes Interview zu Sturzumständen
FRQ	Fall Risk Questionnaire nach Rubenstein
Depression	
BDI	Beck Depression Inventar II
Malnutrition	
MNA	Minimal Nutritional Assessment Langfassung
BMI	Body-Mass-Index
Serumalbumin	
Kognition	
MMST	Mini-Mental-Status-Test
MoCA	Montreal-Cognitive-Assessment
Klinische Bewegungsanalyse	
30-Second-Sit-to-Stand-Test	Kraft in Rumpf/Beinen
Timed-up-and-go-Test	Alltagsfunktion
Sensorbasierte Bewegungsanalyse	
Modifizierter Romberg	Gleichgewichtstest
Ganganalyse	Gangparameter

3.2 Klinische Assessments

3.2.1 MDS-Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale

Der MDS-Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) ist ein klinisch gängiger, umfangreicher Fragebogen zur Erfassung motorischer und nicht motorischer Symptome beim IPS (Goetz et al. 2007). Die 65 Items werden in vier Abschnitte untergliedert (Teil 1: Nicht-motorische Aspekte bei Erfahrungen des täglichen Lebens, Teil 2: Motorische Aspekte bei Erfahrungen des täglichen Lebens, Teil 3:

motorische Untersuchung und Teil 4: motorische Komplikationen). Sieben Items beinhalten Ja/Nein-Fragen, zu den restlichen Fragen stehen Antworten in fünf Graden der Beeinträchtigung zur Wahl (0 = normal, 1 = angedeutet, 2 = leicht, 3 = mild, 4 = schwer) (Goetz et al. 2016). Der MDS-UPDRS ist nicht durch Boden- oder Deckeneffekte verzerrt und durch interne Konsistenz der einzelnen Abschnitte, sowie des gesamten Assessments sehr reliabel.

3.2.2 Modifizierte Hoehn & Yahr Staging Scale

Die modifizierte Hoehn & Yahr Staging Scale ist ein einfaches Instrument zur Erfassung des IPS-Stadiums und der Beeinträchtigung des Patienten. Die ursprünglichen fünf Stadien (Hoehn und Yahr 1967) wurden innerhalb der 1990er Jahre durch Hinzufügen von Stufe 1,5 und 2,5 ergänzt (Jankovic et al. 1990). In dieser Form ist die Klassifikation noch heute weit verbreitet (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4. modifizierte Stadien nach Hoehn und Yahr (Goetz et al. 2004).

1	Einseitige Beeinträchtigung
1,5	Einseitige und axiale Beeinträchtigung
2	Beidseitige Beeinträchtigung ohne Gleichgewichtsbeeinträchtigung
2,5	Milde beidseitige Erkrankung, Wiedererlangung des Gleichgewichts nach Pull-Test
3	Milde bis moderate beidseitige Erkrankung, posturale Instabilität, körperlich unabhängig von Hilfe
4	Schwere Beeinträchtigung, Stand und Gang noch ohne (Geh-)Hilfe möglich
5	Rollstuhlgebunden oder bettlägerig ohne Hilfe

3.2.3 Non-motor-Symptoms-Questionnaire

Der Non-motor-Symptoms-Questionnaire (NMS-Quest) beinhaltet 30 Items, die vom Befragten selbstständig mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden (Chaudhuri et al. 2006). Eine Evaluierung des Fragebogens ergab, dass nicht-motorische Symptome mithilfe des Fragebogens verlässlich gescreent werden können (Sensitivität 63 %; Spezifität 89 %)(Romenets et al. 2012).

3.2.4 Sturzanamnese

In dieser Studie fand eine Sturzanamnese in Form eines semistrukturierten Interviews Anwendung. Dieses wurde von der Autorin konzipiert, um interne und externe Sturzfaktoren zu detektieren, mögliche Sturzursachenkonstellationen zu identifizieren und den Sturzvorgang selbst näher zu betrachten (siehe Abbildung 3).

Der stärkste Sturzprädiktor ist das Vorliegen von mindestens zwei Stürzen im vergangenen Jahr (Pickering et al. 2007a). Dieser Risikofaktor für weitere Stürze wird in *Item 1* erhoben.

Um das Setting der Stürze besser zu verstehen, wird in *Item 2, 4, 6 und 11* nach weiteren Grunderkrankungen, der Tätigkeit, aus der heraus der Sturz entstand, dem Ort des Sturzes und dem Befinden zu diesem Zeitpunkt gefragt.

Freezing ist ein typischer Risikofaktor für Stürze (Kwon et al. 2014b). Um zu erfahren, ob Freezing am Sturzgeschehen beteiligt war, ist *Item 5* konzipiert.

Hindernisse im Weg eines älteren Patienten, wie beispielsweise Teppichkanten, erhöhen das Sturzrisiko, vor allem, wenn das Sehvermögen eingeschränkt ist (Ambrose et al. 2013). Diese externen Sturfaktoren (Bodenbeschaffenheit und Stolperfallen) werden in *Item 7 und 8* erhoben.

Durch kognitive Beeinträchtigung entstehen Schwierigkeiten bei der Ausführung von Dual- oder Multitasking mit der Folge eines erhöhten Sturzrisikos (Herman et al. 2010). Deshalb wird in *Item 9* nach einer Ablenkung während des Sturzereignisses gefragt.

Eine Beeinträchtigung des Sehvermögens kann eine Fehleinschätzung von Entfernungen und fehlendes Hindernisausweichen zur Folge haben und so zu Stürzen führen. Mangelndes Tiefensehen ist einer der bedeutendsten visuellen Risikofaktoren für wiederkehrende Stürze bei selbstständigen Senioren (Salonen und Kivela 2012). In *Item 10* wird ein visueller Risikofaktor erfasst.

Aus einer Metaanalyse von Stubbs und Kollegen (N = 9581) geht hervor, dass die jährliche Prävalenz wiederkehrender Stürze bei selbstständigen, älteren Erwachsenen höher ist, wenn sie unter Schmerzen leiden (12,9 %) als bei schmerzlosen Probanden (7,2 %) (Stubbs et al. 2014). Außerdem konnte eine Assoziation zwischen einzelnen Stürzen und Schmerz sowie zwischen wiederkehrenden Stürzen und Schmerz bestätigt werden. Aus diesem Grund wird in *Item 12* nach Schmerzen vor dem Sturz gefragt.

Schwindel und Benommenheit entstehen im Alter häufig durch eine Degeneration der Haarzellen des Vestibularorgans und erhöhen die Wahrscheinlichkeit eines Sturzes (Ambrose et al. 2013). Daher wird in *Item 13* nach Begleitsymptomen wie Schwindel oder „schwarz vor Augen werden“ gefragt. Dabei steht letzteres für ein Symptom bei dysreguliertem Blutdruck, welcher ein weiteres Sturzrisiko bei älteren Patienten darstellt (Gangavati et al. 2011).

Auch eine Polymedikation oder die Einnahme bestimmter Substanzklassen können das Sturzrisiko erhöhen (Ambrose et al. 2013), weshalb in *Item 3 und 14* auf die vorhandene Medikation eingegangen wird.

Sturzanamnese

1. Wie oft sind Sie in den letzten 12 Monaten gestürzt?
2. Liegen bei Ihnen neben Morbus Parkinson noch weitere Grunderkrankungen vor?
3. Welche Medikamente nehmen Sie ein?

Bezogen auf Ihren letzten Sturz:

4. Wobei sind Sie gestürzt (Gehen, Stand, Drehen, Aufstehen, Losgehen, Treppe)?
5. Waren Ihre Schritte/ Ihr Stand verändert (Festination, Freezing, Shuffling)?
6. Wo sind Sie gestürzt (draußen, zu Hause, bekannter/ unbekannter Ort)?
7. War ein Hindernis im Weg (Bordstein, Teppichkante, Ausweichen, hängen geblieben)?
8. War die Bodenbeschaffenheit ungünstig (glatt, rutschig, uneben)?
9. Waren Sie abgelenkt? Wodurch abgelenkt (Gespräch, Haustier, Musik/Lärm)?
10. Konnten Sie schlecht sehen in diesem Moment (Brille, dunkel, etwas übersehen)?
11. Wie war Ihr Befinden vor dem Sturz (kraftlos, erschöpft, müde)?
12. Hatten Sie Schmerzen bevor Sie stürzten?
13. Gab es Begleitsymptome (Schwindel, schwarz vor Augen, Ohrensausen)?
14. Hatten Sie Alkohol getrunken oder neue Medikamente eingenommen?

Innere Faktoren erfragt in Item: 1, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14

Äußere Faktoren erfragt in Item: 6, 7, 8, 9

Abbildung 3. Sturzanamnese.

3.2.5 Fall Risk Questionnaire nach Rubenstein

Rubenstein und Kollegen entwickelten den Fall Risk Questionnaire (FRQ), der mittels Selbstauskunft bei eigenständig zu Hause lebenden Senioren das Sturzrisiko erfasst (Vivrette et al. 2011). Dieser basiert auf validierten Sturzrisikofaktoren (Rubenstein und Josephson 2002) und beinhaltet 13 Items. Ob ein entsprechender Sturzverursacher vorliegt, kann mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden. Item 1 (Sturz in letzten sechs Monaten) und Item 5 (Benötigen einer Gehhilfe für einen sicheren Gang) sind dabei besonders starke Hinweise für ein erhöhtes Sturzrisiko. Deshalb sollen bei diesen Items jeweils zwei Punkte vergeben werden. Alle anderen Items werden nur mit einem Punkt gezählt. Somit ist bei 13 Items eine maximale Summe von 15 Score-Punkten möglich. Ab einer Summe von vier Punkten (Cut-Off), liegt eine Sturzgefährdung vor (Rubenstein et al. 2011). Eine Evaluation des FRQ zeigt, dass der FRQ-Score mit dem Ergebnis einer klinischen Testung korreliert und eine Sensitivität von 100 % und eine Spezifität von 83 % bei genanntem Cut-Off besteht. Damit fällt die Sensitivität bei der Mehrheit der Items im Vergleich zu einer klinischen Testung sogar höher aus (Rubenstein et al. 2011). Da der FRQ eine deutschsprachige Version nicht zu Verfügung steht, fand in dieser Arbeit eine Übersetzung durch die Autorin und eine englischsprachige Muttersprachlerin Anwendung (übersetzter FRQ).

Fragebogen zum Sturzrisiko*

1	Ich bin in den letzten 6 Monaten gestürzt.	
2	Ich bin besorgt zu stürzen.	
3	Ich fühle mich manchmal gangunsicher.	
4	Ich stütze mich zu Hause beim Gehen an Möbeln oder der Einrichtung ab.	
5	Ich benutze eine Gehhilfe oder sollte eine Gehhilfe benutzen, um sicher gehen zu können.	
6	Ich muss mich mit den Händen von der Stuhllehne abstützen, um aufstehen zu können.	
7	Ich habe Schwierigkeiten über eine Bordsteinkante zu steigen.	
8	Ich muss mich oft beeilen, um rechtzeitig die Toilette zu erreichen.	
9	Ich habe das Gefühl in meinen Füßen verloren.	
10	Ich nehme Medikamente ein, von denen mir schwindelig wird oder die mich müder machen.	
11	Ich nehme Medikamente zum Einschlafen oder zur Verbesserung der Stimmung ein.	
12	Ich fühle mich oft traurig oder depressiv.	
13	Weil ich nicht gut sehen kann, habe ich Schwierigkeiten Hindernissen wie Baumwurzeln oder Stromkabel auszuweichen.	

*Übersetzung des Fall Risk Questionnaire von Rubenstein et al. (2002) ins Deutsche

Gesamtanzahl Antwort „Ja“ :

Auswertung:

höchstens 3 mal „Ja“ → geringes Sturzrisiko

mindestens 4 mal „Ja“ → erhebliches Sturzrisiko

Abbildung 4. modifizierter Fall Risk Questionnaire.

3.2.6 Beck Depression Inventar II

Das Beck Depression Inventar II (BDI) ist ein Fragebogen zum Screening, zur Diagnose und zur Einstufung der Schwere einer Depression (Beck et al. 1961). Er beinhaltet 21 Items mit vier Antwortmöglichkeiten, die mit null bis drei Punkten bewertet werden. Der BDI ist geeignet, zwischen depressiven und nicht-depressiven Gruppen zu unterscheiden, wobei verschiedene Studien unterschiedliche Cut-Off-Werte publizieren (Torbey et al. 2015). Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei dem BDI somatische Symptome einer Depression erfragt werden, welche auch ursächlich mit der Parkinsonerkrankung zusammenhängen können. Folglich würde die depressive Symptomatik überschätzt (Torbey et al. 2015). Um diesen Effekt zu verhindern, werden zur Bestimmung des richtigen Cut-Offs Validierungsstudien des BDIs mit Parkinsonpatienten herangezogen. Die Arbeitsgruppe um Leentjens testete bei 53 Patienten mit idiopathischem Parkinsonsyndrom das Vorliegen einer Depression mittels des BDIs. Eine maximale Sensitivität (0,67) und Spezifität (0,88) sowie zur Unterscheidung zwischen Depressiven und Nicht-Depressiven ist bei einem Cut-Off von 13/14 gegeben (2000). Zum Einsatz des BDI als Screening-Tool ist der Cut-Off niedriger (8/9) und zur Diagnosestellung höher zu wählen (16/17). In einer Studie von Reiff und Kollegen konnten zwei Cut-Off-Werte (9 und 15) bestimmt werden, die am besten Parkinsonpatienten mit einer subsyndromalen Depression von depressiven oder nicht-depressiven Patienten unterscheiden (Reiff et al. 2011). Da etwa ein Viertel der IPS-Patienten unter einer solchen Subthreshold Depression leidet, wurden in dieser Arbeit die genannten Cut-Off-Werte zum Screening dieser Depressionsvorstufe verwendet (Reiff et al. 2011).

3.2.7 Minimal Nutritional Assessment und Serumalbumin

Das IPS geht mit einem erhöhten Risiko für Malnutrition einher (Chen et al. 2003, van der Marck et al. 2012, Jaafar et al. 2010). Das *Minimal Nutritional Assessment (MNA)* wurde 1994 erstmals zur Ermittlung des Ernährungsstatus von älteren Patienten eingesetzt und publiziert (Vellas et al. 2006). Der Fragebogen beinhaltet 18 Items, die sich auf einen Screening- und einen Assessment-Teil aufteilen. Dabei liegen pro Frage zwei bis vier Antwortmöglichkeiten vor, die mit null bis drei Punkten (teilweise in 0,5er Abstufungen) bewertet werden. Bei mehr als 24 Punkten gilt der Patient als gut ernährt. Ein Risiko für Mangelernährung besteht zwischen 17 und 25,5 Punkten. Bei einer

Endsumme kleiner 17 liegt eine Mangelernährung vor. Verglichen mit anderen Malnutritionsassessments weist der MNA einen höheren prädiktiven Wert auf (Donini et al. 2016) und gilt als gut validiert (Guigoz et al. 2002). Dies konnte auch für Parkinsonpatienten bestätigt werden (Ghazi et al. 2015).

Niedrige *Serumalbuminwerte* sind bei alten Menschen assoziiert mit einer erschwerten Ausführung der Aktivitäten des täglichen Lebens und einer erhöhten Mortalität (Cabrerizo et al. 2015). Ein Serumalbumin < 35 g/l ist ein Hinweis auf eine Mangelernährung, wenn keine akute Erkrankung oder schwere Nierenfunktionsstörung vorliegt (Zhang et al. 2017).

3.2.8 Mini-Mental-Status-Test und Montreal-Cognitive-Assessment

Das Risiko für Parkinsonpatienten, an Demenz zu erkranken, ist fünffach erhöht gegenüber den gesunden Gleichaltrigen (Aarsland et al. 2017, Aarsland et al. 2005, Hobson und Meara 2004). Das Mild-cognitive Impairment (MCI) wird nach den MDS-Empfehlungen diagnostiziert, wenn kognitive Defizite in der neuropsychologischen Testung auftreten, die aber nicht alltagsrelevant sind (Litvan et al. 2012). Bei der IPS-assoziierten Demenz müssen laut der Diagnosekriterien der MDS alltagsrelevante Defizite in mindestens zwei der Kognitionsbereiche Aufmerksamkeit, Erinnerung, Ausführungsfähigkeit und räumlich-zeitliche Funktion nachweisbar sein (Emre et al. 2007).

Der *Mini-Mental-Status-Test (MMST)* liegt in Interviewform vor und ermöglicht eine schnelle und einfache Durchführung (Folstein et al. 1975). Dieser prüft in zehn Aufgabenbereichen die kognitive Funktion (Orientierung, Merkfähigkeit, Aufmerksamkeit und Rechenfähigkeit, Erinnerungsfähigkeit, Sprache, Wiederholen, dreiteiliger Befehl und Reagieren). Zur Erfassung einer schweren kognitiven Beeinträchtigung ist der MMST gut geeignet, hingegen fällt die Sensitivität bei milden Formen durch Deckeneffekte eher gering aus (Pendlebury et al. 2010). Es werden maximal 30 Punkte erzielt, wobei bei einem Cut-Off-Wert von 26 Punkten die Kombination von Sensitivität (60,2 %) und Spezifität (70,6 %) für das Vorliegen einer milden kognitiven Demenz maximal ausfällt (Lucza et al. 2015).

Neben dem MMST findet in dieser Arbeit das *Montreal-Cognitive-Assessment (MoCA)* zur Testung der Kognition Anwendung (Nasreddine et al. 2005). Hierbei werden die Kompetenzen räumlich-zeitliche Ausführung, Benennen, Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Sprache, Abstraktion, Erinnerung und Orientierung getestet und in dichotomer Form bewertet (null oder einen Punkt). Um den Einfluss des Bildungsgrades der Probanden auf das Testergebnis auszugleichen, wird jedem Probanden, der nicht mehr als 12 Jahre Ausbildung genossen hat, ein Zusatzpunkt berechnet (Hoops et al. 2009). Somit ergibt sich eine maximale Punktzahl von 30. Sowohl eine hohe interne Konsistenz (Cronbach's $\alpha = 0,76$) als auch eine zuverlässige Retest-Reliabilität (Pearson Korrelationskoeffizient = 0,95, $p < 0,0001$) sind vorhanden (Krishnan et al. 2015). Dieses Testverfahren ergänzt den MMST, da es bei milden Demenzen eine deutlich höhere Sensitivität aufweist (Nasreddine et al. 2005). Ein MoCA-Score von < 21 kann eine Demenz und ein Score von 21 bis 25 eine milde kognitive Beeinträchtigung klassifizieren (Tumas et al. 2016).

3.3 Motorische Assessments

Alle motorischen Parameter wurden über das mobile Messsystem (RehaGait®, Hasomed, Magdeburg, Deutschland) aus drei Sensoreinheiten und einer Software zur Berechnung von gelenkkinematischen und räumlich-zeitlichen Parametern erhoben. Eine initiale Sensoreinheit besteht dabei aus einem Translationssensor (Beschleunigungssensor), einem Gyroskopsensor (Drehratensensor) und einem Magnetometer (Messung magnetischer Flussdichte). Alle Probanden trugen festes Schuhwerk, auf dem jeweils eine Sensoreinheit mittels eines Klettverschlussystems oberhalb des Malleolus lateralis platziert wurde (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5. Messsystem RehaGait®.

<https://www.rehagait.de/mediathek/broschueren-flyer.html?L=1> zuletzt abgerufen am 01.10.2019

Eine weitere Sensoreinheit wurde mit einem Bauchgurt auf Höhe des vierten Lendenwirbels am Rücken des Probanden befestigt. Vor jeder Testung wurde jede der drei Sensoreinheiten einzeln bezüglich der Lage im Raum geeicht. Hierfür wurde zuerst der am Probanden platzierte Sensor in Ruhe und anschließend mit einer definierten Bewegung kalibriert. Indem die Sensoren hochfrequentiert (400Hz) Lageinformationen an ein Tablet sendeten, konnte eine Bewegung fein aufgelöst erfasst und die unterschiedlichen Parameter direkt berechnet werden. Durch eine Benutzeroberfläche konnten Messergebnisse der motorischen Tests und der Ganganalyse über das Tablet direkt angezeigt werden. Alle Daten wurden in Excel und SPSS importiert. Koordinativ anspruchsvolle Tests wurden vor konditionell erschöpfenden Tests durchgeführt, um den Einfluss der Ermüdung auf die Messungen zu minimieren. Das motorische Assessment begann mit dem modifizierten Romberg, es folgten der Timed-up-and-go-Test, der 30-Second-Sit-to-Stand-Test und abschließend die Ganganalyse. Die gesamte Messung dauerte etwa 30 Minuten.

3.3.1 Modifizierter Romberg

Die Arbeitsgruppe um Agrawal konnte zeigen, dass Schwierigkeiten beim Halten des Gleichgewichtes im modifizierten Romberg mit einem erhöhten Sturzrisiko assoziiert sind (Agrawal et al. 2009), daher wurde dieser Test in die Analyse aufgenommen. Der Sensor, der über einen Gurt am Rücken auf Höhe des vierten Lendenwirbels befestigt wurde, erfasste die Bewegung des Körperschwerpunkts im Raum. Die Arme befanden sich dabei gekreuzt vor der Brust und die Augen mussten nicht geschlossen werden. Vor der ersten Ausführung erhielt der Patient die Anweisung, die Position für zehn Sekunden möglichst ruhig zu halten. In vier Stufen wurde über die Fußpositionen die Standfläche verkleinert und somit eine die Anforderung an das Gleichgewicht erhöht (siehe Tabelle 5). Welcher Fuß in Stufe drei und vier vorn platziert wurde, durfte vom Probanden selbst festgelegt werden. Somit waren für alle Probanden gleiche Bedingungen gegeben und eine Verfälschung der Untersuchung durch die Vorgabe des vorderen Beines wurde vermieden.

Tabelle 5. Fußpositionen im Romberg-Test.

1. Runde	Normaler Stand: Füße hüftbreit nebeneinander aufgestellt
2. Runde	Geschlossener Stand: Innenkanten der Füße berühren sich
3. Runde	Semitandem-Stand: Aus Position 2 wird ein Fuß um eine halbe Fußlänge vorgesetzt
4. Runde	Tandem-Stand: Beide Füße stehen hintereinander in einer Linie (Ferse berührt die Fußspitze)

Konnte eine Position nicht für zehn Sekunden gehalten werden oder musste die Versuchsleiterin aus Sicherheitsgründen eingreifen, galt die Runde als nicht bestanden und der Test wurde beendet. Über alle vier Stufen wurde die anterior-posteriore und die medio-laterale Auslenkung, die Schwankfläche und der Jerk (erste Ableitung der Rumpfbeschleunigung) ermittelt.

3.3.2 30-Second-Sit-to-Stand-Test

Der 30-Second-Sit-to-Stand-Test stellt eine Variation des Five-Times-Sit-to-Stand-Tests dar. Bei dem Five-Times-Sit-to-Stand-Test wird die Zeit gestoppt, die der Proband benötigt, um fünfmal von einem Stuhl aufzustehen und sich wieder zu setzen (Duncan et al. 2011). Die Kritik an diesem Test besteht darin, dass viele ältere Personen keine fünf Wiederholungen schaffen (Macfarlane et al. 2006). Um diesen Nachteil zu beheben, wurde der 30-Second-Sit-to-Stand-Test konstruiert (Rikli und Jones 2001). Die Probanden sollen dabei innerhalb von 30 Sekunden so oft wie möglich von einem Stuhl in Standardhöhe aufstehen und sich wieder setzen. Wichtig bei der Ausführung ist, dass die Knie- und Hüftgelenke im Stand vollständig gestreckt werden und im Sitzen das Gesäß der Sitzfläche vollständig aufliegt. Die Arme wurden in dieser Untersuchung vor der Brust gekreuzt, damit kein Schwung holen oder Abstützen erfolgte. Vor Beginn wurde die Ausführung von der Versuchsleiterin demonstriert.

Der 30-Second-Sit-to-Stand-Test gibt Auskunft über die globale Kraft von unterer Extremität und Rumpf der Patienten. Zudem gestattet der Test eine Unterscheidung zwischen aktiven und inaktiven Probanden sowie eine Differenzierung verschiedener Altersklassen (Jones et al. 1999, Macfarlane et al. 2006). Die Retest-Reliabilität besteht mit einer Intraklassen-Korrelation von 0,87 bei Männern und 0,92 bei Frauen (Jones et al. 1999). Die Reliabilität des 30-Second-Sit-to-Stand-Test fällt auch beim Einsatz bei Parkinsonpatienten hoch aus und ist somit höher als die des Five-Times-Sit-to-Stand-Tests (Petersen et al. 2016). Um von einer Kraftminderung der unteren Extremität auf ein erhöhtes Sturzrisiko schließen zu können (Odd's Ratio = 1,76 %, KI = 1.31-2.37) (Moreland et al. 2004), soll dieser Test hier Anwendung finden.

3.3.3 Timed-up-and-go-Test

Der Timed-up-and-go-Test simuliert eine Alltagssituation aus Aufstehen, Gehen, Drehen und Hinsetzen und testet, wie gut Probanden dies bewältigen können (Podsiadlo und Richardson 1991). Hierbei wird die Zeit gemessen, die ein Patient benötigt, um von einem Stuhl in Standardhöhe aufzustehen, zu einem drei Meter entfernten Kegel zu gehen, darum zu wenden, zurückzugehen und sich dann wieder hinzusetzen. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewähren, wurde den Teilnehmern die Übung durch die Versuchsleiterin demonstriert. Zusätzlich wurden alle

Probanden angewiesen, ein möglichst zügiges Gangtempo zu wählen, bei dem eine sichere Durchführung gegeben ist. Wenn das Gehen ohne Hilfsmittel nicht möglich oder sicher erschien, konnte eine Gehhilfe eingesetzt werden. Dies wurde im Messprotokoll vermerkt und gesondert ausgewertet.

Die niedrige Zeit im Timed-up-and-go-Test korreliert mit einer hohen Ganggeschwindigkeit, einer hohen funktionellen Mobilität und einem geringen Auftreten von Stürzen bei älteren Erwachsenen (Viccaro et al. 2011). Die Fähigkeit des Tests, bei Parkinsonpatienten zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden zu unterscheiden, zeigt eine adäquate Validität. Dabei können Stürze bei medikamentösen Off-Zuständen besser vorhergesagt werden als bei medikamentösen On-Zuständen (Foreman et al. 2011). Eine hohe Retest-Reliabilität sowie eine hohe Interrater-Reliabilität (mit Intraklassen-Korrelationen zwischen 0,8 und 0,99) werden in der Literatur beschrieben (Bloem et al. 2016). Um eine möglichst hohe Sensitivität (0,66) und Spezifität (0,62) zu erzielen, definiert ein Cut-Off-Wert von 11,5 Sekunden in dieser Untersuchung die Grenze zwischen hohem und niedrigem Sturzrisiko (Nocera et al. 2013).

3.3.4 Ganganalyse

Die *Gehgeschwindigkeit* wurde fliehend mittels des 4-Meter-Walking-Tests erhoben. Das bedeutet, dass die Beschleunigungs- und die Abbremsphase nicht in die Messung eingingen und die Gehgeschwindigkeit nur über vier Meter mit annähernd konstantem Tempo ermittelt wurde. Es wurde mit vier Metern eine kurze Strecke zur Vermeidung von Ermüdungseffekten gewählt. Der 4-Meter-Walking-Test zeichnet sich durch eine sehr hohe Retest-Reliabilität, geringe Messfehler und hohe Messempfindlichkeit gegenüber minimalen Unterschieden aus (Peters et al. 2013). Um der alltäglichen Ganggeschwindigkeit möglichst nahe zu kommen, wurden die Patienten in dieser Studie instruiert, mit selbstgewähltem Gangtempo so zu gehen, wie sie es zu Hause in der eigenen Wohnung tun würden. Im Vergleich dazu wurde ebenfalls das Gangtempo in der Ganganalyse über 50 Schritte erhoben, um eventuelle Unterschiede bei längerer Gehstrecke erfassen zu können.

Um parkinsontypische Gangveränderungen zu detektieren und messen zu können, wurden in dieser Untersuchung *räumlich-zeitliche Gangparameter* wie die Doppelschrittlänge und -dauer, die Schritthöhe sowie die Gangzyklusvariabilität erhoben. Die

Probanden befanden sich zur Messung im medikamentösen On-Zustand. König und Kollegen geben an, dass für eine reliable Messung der Gangvariabilität die Gangstrecke mindestens 50 Gangzyklen betragen sollte (König et al. 2014). Hingegen beschreibt die Arbeitsgruppe um Galna, dass die Reliabilität mit den ersten 30 Schritten steigt und empfehlen daher eine Wegstrecke von mindestens 30 Schritten (Galna et al. 2013). Die Ganganalyse wurde in dieser Studie über 50 Schritte auf dem geraden Stationsflur durchgeführt. Mit dieser Distanz war es möglich, dass selbst Probanden mit längerem Schrittmaß die 30 Schritte hintereinander gehen konnten, ohne wenden zu müssen. Der Stationsflur war frei von räumlichen Einengungen wie Türrahmen und Schwellen, wodurch ein Triggern von Freezing minimiert wurde (Heremans et al. 2013). Damit die gemessene Gehgeschwindigkeit möglichst der Alltagssituation entspricht und vergleichbare Bedingungen für alle Probanden vorlagen, wurde der Patient angewiesen das Gangtempo so zu wählen, dass es dem in der eigenen Häuslichkeit entspricht. Um bei eventuellen Stürzen eingreifen zu können, folgte die Versuchsleiterin dem Teilnehmer in Reichweite. Durch das Vorangehen des Probanden, wurde verhindert, dass dieser die Geschwindigkeit oder den Rhythmus der Versuchsleiterin aufnahm.

3.4 Statistische Auswertung

Alle statistischen Analysen erfolgten mittels IBM Statistics SPSS 24. Zur deskriptiven Analyse der Stichprobe wurden Mittelwerte mit Standardabweichungen, Mediane mit Interquartilabstand (IRQ), sowie Häufigkeiten bestimmt. Ob die Variablen einer Normalverteilung folgen, wurde mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests und mittels Histogrammen untersucht. Um Gruppenvergleiche zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden und zwischen den Geschlechtern durchführen zu können, wurden ein T-Test, Mann-Whitney-U-Test oder Chi-Quadrat-Test angewandt. Um herauszufinden, welche Sturfaktoren sich als Prädiktoren für zukünftige Stürze eignen, wurden ausgewählte Einflussfaktoren in Blöcke eingeteilt. Mittels einer binären logistischen Regression (Rückwärtsselektion) konnten die ausgewählten Parameter auf sinnvolle Prädiktoren reduziert werden. Durch das Nagelkerke-R-Quadrat und den Hosmer-Lemeshow-Test wurde die Modellgüte beurteilt und mittels Cohens-d die Effektstärke des Prädiktors berechnet. Allen statistischen Verfahren lag eine Irrtumswahrscheinlichkeit $< 0,05$ für eine zweiseitige Signifikanz zugrunde.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Daten der Stichprobe

In die Studie wurden 26 männliche (65 %) und 14 weibliche (35 %) ältere Parkinsonpatienten eingeschlossen. Alle 40 Probanden hatten mindestens zwei chronische Erkrankungen und galten somit als multimorbide (Yarnall et al. 2017). Etwa acht verschiedene Medikamente nahmen die Befragten durchschnittlich ein. Bei 85 % (N = 33) der Probanden bestand mit einer Einnahme von fünf oder mehr Medikamenten eine Polymedikation. Tabelle 6 fasst krankheitsrelevante Parameter und klinische Scores zusammen.

Tabelle 6. Klinische Merkmale der Stichprobe.

Kriterium	MW	SD
Alter [Jahre]	74,9	4,5
Anzahl chronischer Erkrankungen	5,1	3,1
Anzahl Medikamente	8,2	3,2
Erkrankungsdauer seit Erstdiagnose [Jahre]	12,3	13,8
MDS-UPDRS	71,3	31,6
Teil 1 - alltagsrelevante nicht-motorische Aspekte	14,4	6,7
Teil 2 - alltagsrelevante motorische Aspekte	18,9	8,8
Teil 3 - motorische Beeinträchtigungen	35,4	17,5
Teil 4 - motorische Komplikationen	3,9	5,2
NMS-Quest	10,0	4,8
BDI	11,0	10,1
MoCA	21,6	4,3
MMST	26,5	3,1
MNA	23,2	4,0
Albumin [g/l]	34,8	4,3

Der häufigste Erkrankungstyp dieser Stichprobe war der Äquivalenztyp (18 %, N = 17), gefolgt vom akinetisch-rigiden (46 %, N = 13) und dem tremor-dominanten Typ (36 %, N = 10). Bezüglich des Krankheitsstadiums nach Hoehn & Yahr Staging, waren alle Stadien zwischen 1 und 4 vertreten (Median = 3; IQR = 1,5). Das häufigste Stadium war das Hoehn & Yahr 3, was bedeutet, dass die Betroffenen eine mäßige beidseitige Beeinträchtigung mit leichter Haltungsinstabilität und dennoch erhaltener körperlicher Unabhängigkeit vorwiesen.

4.2 Sturzanamnese und Sturzrisiko

Von den 40 Patienten stürzten 19 (47,5 %) mindestens einmal in den letzten sechs Monaten. Von mindestens einem Sturzereignis betroffen waren 57 % der Frauen (N = 8) und 42 % der Männer (N = 11), dabei war kein Unterschied in der Sturzhäufigkeit zwischen den Geschlechtern erkennbar ($p = 0,37$). Die Stürzenden erlebten in den letzten zwölf Monaten durchschnittlich $5 (\pm 4,0)$ Sturzereignisse. In Abbildung 6 ist die Häufigkeit der aufgetretenen Stürze dargestellt.

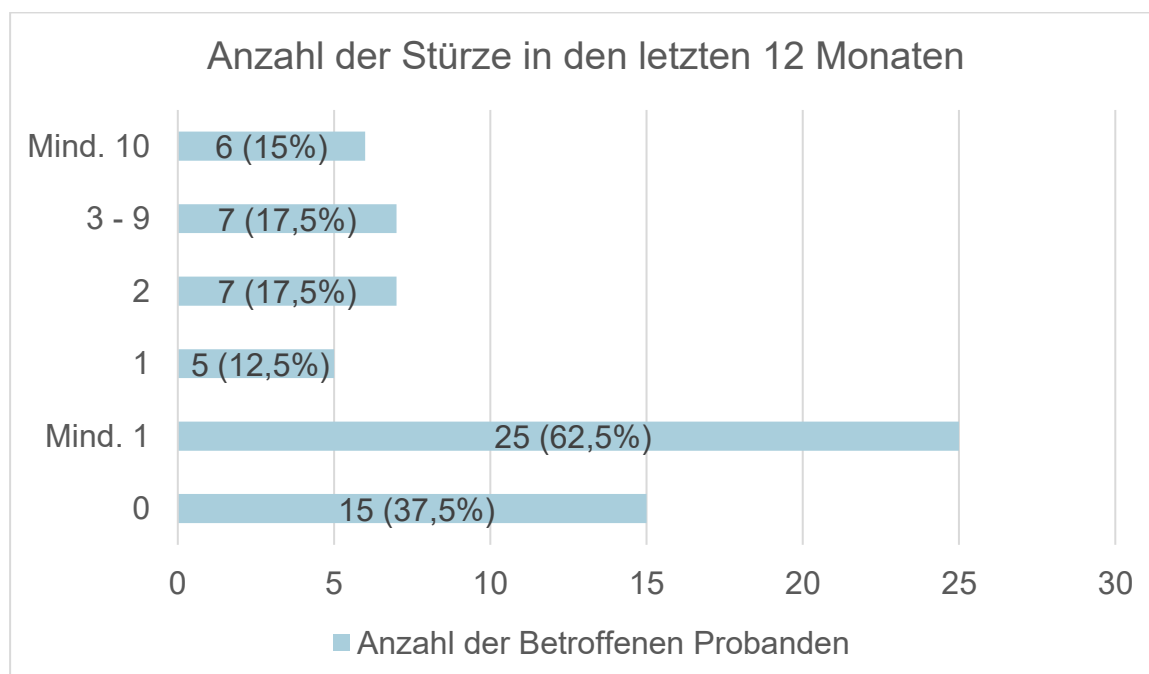


Abbildung 6. Anzahl der Stürze in den letzten 12 Monaten und ihre Häufigkeit.

Die Hintergründe des letzten Sturzgeschehens innerhalb der letzten 12 Monate wurden in einem semistrukturierten Interview erfragt. Bei einem Probanden war die Situation des letzten Sturzes nicht rememberlich. Ansonsten wurde in Kategorien eingeteilt, bei welchen Tätigkeiten oder Bewegungsformen der Sturz auftrat (siehe Tabelle 7). Die meisten Stürze traten während des Gehens auf, gefolgt von Stürzen während des Stehens oder des Hinauf- oder Hinuntersteigens einer Treppe.

Tabelle 7. Häufigkeitsverteilung der Tätigkeiten während des letzten Sturzes.

Tätigkeit	Anzahl	Prozent	Gültige Prozenze
Gehen	8	32,0	33,3
Stehen	4	16,0	16,7
Treppensteigen	4	16,0	16,7
Drehen	3	12,0	12,5
Positionswechsel*	3	12,0	12,5
Sitzen/ Hocken	2	8,0	8,3
Gesamt	24	96,0	100,0
Nicht rememberlich	1	4,0	

* Bewegungen wie Aufstehen, Hinsetzen oder Losgehen

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse des semistrukturierten Interviews mit relativen und absoluten Häufigkeiten aufgeführt. Ein Drittel der Stürzenden gab an, im Rahmen von Freezing gestürzt zu sein. Etwa die Hälfte (54 %) der betrachteten Stürze fand in der Häuslichkeit der Betroffenen statt. Die meisten Stürze erfolgten an einem dem Patienten bekannten Ort, nur 25 % gaben an, in einem nicht-häuslichen Umfeld gestürzt zu sein. Bei einem Viertel der Fälle war ein Hindernis (z.B. Teppichkante/ Bordstein) mit verantwortlich für das Sturzgeschehen. Eine rutschige oder unebene Oberfläche lag wiederum bei einem Viertel der Befragten vor. Nur 13 % waren gedanklich oder durch eine Tätigkeit abgelenkt, als sie stürzten. Drei von 24 Stürzen sind unter anderem auf eine mangelnde Beleuchtung zurückzuführen. Ein Viertel der Gestürzten war zum Zeitpunkt des Sturzes müde. Keiner der Befragten gab an, dass Schmerzen für das betrachtete Sturzereignis mitverantwortlich waren. Begleitsymptome wie Schwindel oder Schwarzwerden vor den Augen bemerkten 25 % vor dem Fallen. 13 %

hatten zu dem betreffenden Zeitpunkt Alkohol oder neu angeordnete oder umgestellte Medikamente zu sich genommen.

Tabelle 8. absteigende Häufigkeiten von aufgetretenen Sturzfaktoren.

Kriterium	Anteil [%]	Anzahl
Sturz zu Hause	54,2	13
Sturz außerhalb der Häuslichkeit	25,0	6
Freezing vor dem Sturz	33,3	8
Hindernis führt zum Sturz	25,0	6
Ungünstige Bodenbeschaffenheit	25,0	6
Müdigkeit vor dem Sturz	25,0	6
Schwindel oder Schwarzwerden vor Augen vor dem Sturz	25,0	6
Sturz durch Ablenkung	12,5	3
Sturz aufgrund unzureichender Beleuchtung	12,5	3
Alkoholkonsum oder Medikamentenumstellung vor Sturz	12,5	3
Schmerzen führten zum Sturz	0,0	0

4.3 Ganganalyseparameter in Bezug zur Normalbevölkerung

Um die Gangparameter der Probanden mit denen der gesunden, altersgematchten Normalbevölkerung vergleichen zu können, wurden Referenzwerte für jeden Probanden individuell herangezogen. Diese wurden vom Messsystem unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht generiert. Die Algorithmen zur Berechnung dieser Referenzwerte waren mithilfe von Ganganalysen einer 1860 Personen starken Kohorte erstellt worden (Schwesig et al. 2011). Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Ganganalyseparameter der Probanden und die dazugehörigen Referenzwerte der gesunden Bevölkerung sind in Tabelle 9 dargestellt. Ein Viertel (22,5 %, N = 9) der Parkinsonpatienten wies eine verlängerte Doppelschrittdauer auf. Bei 80 % (N = 32) war die Schrittlänge kürzer als die der altersentsprechenden Kohorte. Hinsichtlich der Kadenz (Anzahl der Schritte pro Minute) ist zu verzeichnen, dass die Mehrheit (67,5 %, N = 27) im Referenzbereich lag. Nur 17,5 % (N = 7) wiesen eine niedrigere und 15 % (N = 6) eine höhere Kadenz auf. Bei 35 % der Patienten (N = 14) war die maximale Schritthöhe niedriger als der zugehörige Referenzbereich. Was die

Gangvariabilität betrifft, wird ersichtlich, dass alle Probanden (100 %, N = 40) durch eine höhere räumliche Gangzyklusvariabilität als die Normalbevölkerung gekennzeichnet waren. 95 % (N = 38) zeigten eine zeitliche Gangzyklusvariabilität oberhalb des Referenzbereiches.

Tabelle 9. motorische Parameter der Probanden und alters- und geschlechtskorrespondierende minimale und maximale Referenzwerte.

Parameter (MW ± SD)	Patienten	min. Referenz	max. Referenz
Doppelschrittdauer [s]	1,17 ± 0,13	0,99 ± 0,03	1,2 ± 0,06
Doppelschrittlänge [cm]	92,1 ± 25,9	101,7 ± 13,8	134,8 ± 13,0
Kadenz [1/min]	103,8 ± 10,6	99,0 ± 5,2	111,9 ± 6,6
Max. Schritthöhe [cm]	10,5 ± 3,1	9,6 ± 0,6	23,6 ± 0,9
Räuml. Gangvariabilität	14,4 ± 7,0	0 ± 0	2,3 ± 0,1
Zeitl. Gangvariabilität	6,1 ± 2,3	0 ± 0	2,3 ± 0,1

4.4 Gruppenvergleich klinischer Parameter

Im folgenden Abschnitt sollen Stürzende und Nicht-Stürzende bezüglich verschiedener Merkmale aus den Bereichen Sturzrisiko, Emotion, Ernährung und Kognition miteinander verglichen werden. Die zusammengefassten Ergebnisse des klinischen Gruppenvergleiches sind in Tabelle 10 am Ende dieses Abschnittes dargestellt. Je nachdem, ob die einzelnen Größen einer Normalverteilung folgten oder nicht, wurde ein T-Test oder ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Dementsprechend wurden in Tabelle 10 zum Gruppenvergleich unterschiedlichen Größen der zentralen Tendenz (Median oder Mittelwert) verwendet.

4.4.1 Sturzrisiko

Die Probanden der gesamten Stichprobe wiesen gemittelt etwa sechs Sturfaktoren im übersetzten FRQ nach Rubenstein auf ($5,7 \pm 3,1$ Punkte, Range: 0-12 Punkte). Bei der Auswertungsvariante, bei der Item 1 (Sturz in letzten sechs Monaten) und Item 5 (Gehhilfe wird für sicheren Gang benötigt) zwei Punkte erhalten, war der Durchschnitt einen Score-Punkt höher ($6,7 \pm 3,9$). Ab vier Punkten wird ein erhöhtes Sturzrisiko angenommen, demnach waren 65 % (N = 26) der Probanden sturzgefährdet. Die

Gruppe der Nicht-Stürzenden war gekennzeichnet durch einen mittleren Score von $3,7 \pm 2,2$ Punkten. Der FRQ der Stürzenden fiel mit $10 \pm 2,2$ Punkten signifikant höher als bei den Nicht-Stürzenden aus ($p < 0,001$).

4.4.2 Depression

Der BDI betrug durchschnittlich $11 \pm 10,1$ Punkte ($N = 32$, Range: 1-51 Punkte). Bei etwa der Hälfte der Studienteilnehmer (47 %, $N = 15$) lag demnach keine Depression vor ($BDI < 9$). Ein Viertel litt unter einer Subthreshold/ subsyndromalen Depression (25 %; $N = 8$; $BDI 9-15$) und 28 % ($N = 9$) wiesen eine Depression ($BDI > 15$) auf. Der BDI von Stürzenden ($14,3 \pm 12,4$) und Nicht-Stürzenden ($8,1 \pm 6,9$) unterschied sich im Gruppenvergleich nicht signifikant ($p = 0,09$).

4.4.3 Malnutrition

Für die gesamte Stichprobe betrug der durchschnittliche Albuminwert $34,8 \pm 4,3$ g/l (Range: 22-42 g/l). Die Albuminwerte unterschieden sich nicht signifikant zwischen Stürzenden (Median = 36,5 g/l, IQR = 5) und Nicht-Stürzenden (Median = 35,5 g/l; IQR = 4,8; $p = 0,57$).

Der durchschnittliche BMI der Probanden lag bei $25,3 \pm 3,6$ kg/m² (Range: 20,5-36,5 kg/m²) und zeigte keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,39$) zwischen Stürzenden ($24,8 \pm 3,8$ kg/m²) und Nicht-Stürzenden ($25,9 \pm 3,4$ kg/m²).

Der mittlere MNA-Score betrug $23,2 \pm 4,0$ Punkte (Range: 15-31 Punkte; $N = 32$). Dabei wiesen 46,9 % ($N = 15$) ein Risiko für eine Mangelernährung auf und 9,4 % ($N = 3$) zeigten eine Malnutrition. Im Gruppenvergleich zeigte der MNA-Mittelwert der Stürzenden ($21,8 \pm 4,3$) keinen signifikanten Unterschied gegenüber den Nicht-Stürzenden ($24,6 \pm 3,1$; $p = 0,052$).

4.4.4 Kognition

Der durchschnittliche MMST betrug $26,5 \pm 3,1$ Punkte. Der MoCA zeigte ein Mittel von $21,6 \pm 4,3$ Punkte. Gemessen am MoCA wiesen 26 % der Patienten ($N = 10$) keine Kognitionsbeeinträchtigungen ($MoCA \geq 26$), 39 % ($N = 15$) eine MCI ($MoCA 21-25$) und 36 % ($N = 14$) eine Demenz ($MoCA < 21$) auf. Beide Scores unterschieden sich

nicht signifikant zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden (MoCA: $p = 0,9$; MMST: $p = 0,6$). In Tabelle 10 ist der Gruppenvergleich der Stürzenden und Nicht-Stürzenden hinsichtlich der klinischen Parameter zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 10. klinische Parameter im Gruppenvergleich.

Merkmal	Nicht-Stürzende	Stürzende	p-Wert
	Median [IQR]/ MW \pm SD	Median [IQR]/ MW \pm SD	
Alter [Jahre]	75,2 \pm 4,1	74,6 \pm 4,9	0,45
chronische Erkrankungen	4 [3]	4 [1]	0,11
MDS-UPDRS gesamt	53,9 \pm 22,1	91,8 \pm 28,8	<0,001**
Teil 1 (alltagsrelevante nicht-motorische Aspekte)	11,2 \pm 5,9	18,1 \pm 5,7	0,001**
Teil 2 (alltagsrelevante motorische Aspekte)	14,2 \pm 7,4	24,5 \pm 6,9	<0,001**
Teil 3 (motorische Beeinträchtigung)	27,4 \pm 12,3	44,9 \pm 18,1	0,001**
Teil 4 (motorische Komplikationen)	2,7 \pm 4,4	5,5 \pm 5,9	0,11
NMS-Quest	8 [7]	12 [6]	0,001**
FRQ	3,7 \pm 2,2	10 \pm 2,2	<0,001**
BDI	8,1 \pm 6,9	14,3 \pm 12,4	0,09
Serumalbumin [g/l]	35,5 [4,8]	36,5 [5]	0,57
BMI [kg/m ²]	25,9 \pm 3,4	24,8 \pm 3,8	0,39
MNA	24,6 \pm 3,1	21,8 \pm 4,3	0,052
MMST	26,8 \pm 3,4	26,3 \pm 2,8	0,60
MoCA	21,5 \pm 4,4	21,7 \pm 4,4	0,90

zweiseitige Korrelation * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

4.5 Gruppenvergleich motorischer Parameter

Der folgende Abschnitt bezieht sich auf die Fragestellung, wie sich Stürzende von den Nicht-Stürzenden hinsichtlich ihrer motorischen Parameter unterscheiden. Dazu wurden zentrale Tendenzen (mittlerer Rang oder Mittelwert) der beiden Gruppen miteinander verglichen. Eine Zusammenfassung der motorischen Tests sowie der Ganganalyse sind in Tabelle 12 dargestellt.

4.5.1 Modifizierter Romberg

Im modifizierten Romberg steht die erreichte Stufe für die Fußposition mit der geringsten Standfläche, die der Proband ohne einen Ausfallschritt oder die Hilfe der Versuchsleiterin für zehn Sekunden halten konnte. Aus Tabelle 11 wird ersichtlich, dass die meisten Probanden die vorgegebene Position bis Stufe drei oder vier halten konnten.

Tabelle 11. Häufigkeitsverteilung des Romberg-Tests.

Maximal erreichte Stufe	Anzahl der Patienten, die Stufe durchführen konnten	Prozent
1	1	2,5
2	6	15,0
3	18	45,0
4	15	37,5
Gesamt	40	100,0

Ein Gruppenunterschied bezüglich der Anzahl der erreichten Stufen lag bei Stürzenden und Nicht-Stürzenden nicht vor ($p = 0,46$). Beide Gruppen erzielten im Median drei Stufen. Die Schwankfläche, der Jerk sowie die Auslenkung wurden weiterhin über alle Stufen hinweg erhoben und auf eine Gruppendifferenzen hin untersucht. Mit zunehmender Stufe und somit steigender Schwierigkeit sank die Anzahl der Probanden, die gültige Werte ohne Ausfallschritte oder Hilfe erzielten. Dabei konnte ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen den Stürzenden (Median = 2,67; IRQ = 1,28 [cm²/s]) und Nicht-Stürzenden (Median = 2,05; IRQ = 1,02 [cm²/s]) für die Auslenkung in anterior-posteriorer Richtung (1. Stufe; $p = 0,03$) detektiert werden. Die Gruppen Stürzende und Nicht-Stürzende wiesen keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf Jerk, Schwankfläche und medio-laterale Auslenkung auf (siehe Tabelle 12). Trotzdem sind

in Bezug auf die Schwankfläche und die medio-laterale Auslenkung Tendenzen der Mittelwerte festzustellen. Die Schwankfläche stieg sowohl bei den Stürzenden sowie bei den Nicht-Stürzenden mit jeder Schwierigkeitsstufe an, wobei die Stürzenden in allen vier Stufen eine durchschnittlich höhere Schwankfläche aufwiesen. Die medio-laterale Auslenkung stieg ebenfalls mit jeder höheren Stufe an, jedoch zeigten die Nicht-Stürzenden in allen Stufen einen höheren Mittelwert als die Stürzenden. Für diese Tendenzen liegt keine Signifikanz vor. Der Jerk fiel über die Stufen hinweg sehr heterogen aus, sodass keine Gesetzmäßigkeiten bei ansteigendem Schwierigkeitsniveau ableitbar waren.

4.5.2 Timed-up-and-go-Test

Die Zeit im Timed-up-and-go-Test fiel bei den Stürzenden (Median = 16,0 Sek; IQR = 10,75) signifikant länger aus als bei den Nicht-Stürzenden (Median = 8,9 Sek; IQR = 6,34; $p = 0,004$). Führt man diesen Vergleich ausschließlich mit Probanden durch, die keine Gehhilfe benutzten ($N = 35$), wird die benötigte Zeit für beide Gruppen kürzer (Median Nicht-Stürzende = 8,8 Sek; IQR = 5,87; Median Stürzende = 14,6 Sek; IQR = 8,46).

4.5.3 30-Second-Sit-to-Stand-Test

Die Gruppen der Nicht-Stürzenden erreichte im Mittel $9,5 \pm 5,0$ Wiederholungen im 30-Second-Sit-to-Stand-Test. Hingegen erzielten die Stürzenden lediglich $6,5 \pm 4,3$. Somit erzielten die Nicht-Stürzenden durchschnittlich drei Wiederholungen mehr als die Stürzenden, der Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p = 0,052$).

4.5.4 Ganganalyse

Bei einer Betrachtung der Gehgeschwindigkeit über 50 Schritte hinweg, waren die Stürzenden (Median = 0,92; IQR = 0,41) signifikant langsamer ($p = 0,002$) als die Nicht-Stürzenden (Median = 0,68; IQR = 0,33). Dabei unterschied sich die Gehgeschwindigkeit über vier Meter nicht signifikant von der Gehgeschwindigkeit, die über 50 Schritte gemessen wurde ($p = 0,3$). Weiterhin zeigte die Gruppe der Stürzen-

den signifikant räumlich kürzere und flachere Schritte als die Nicht-Stürzenden (Doppelschrittlänge: $p = 0,001$; gemittelte maximale Schritthöhe: $p = 0,02$). Tendenziell wiesen die Stürzenden eine längere Doppelschrittdauer und eine höhere räumliche Gangvariabilität als die Nicht-Stürzenden auf. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. In Tabelle 12 sind die Gruppendifferenzen der Ganganalyse und anderer motorischer Parameter zusammengefasst.

Tabelle 12. motorische Parameter im Gruppenvergleich.

Merkmal	Nicht-Stürze Median [IQR]/ MW \pm SD	Stürzende Median [IQR]/ MW \pm SD	p-Wert
Schwankfläche (Stufe 1) [cm ² /s]	1,13 [0,83]	1,54 [0,72]	0,35
Jerk (Stufe 1) [m ² /sec ⁵]	2,67 [1,02]	2,53 [0,66]	0,10
Auslenkung a-p (Stufe 1) [cm]	2,05 [1,02]	2,67 [1,28]	0,03*
Auslenkung m-l (Stufe 1) [cm]	1,16 [0,72]	0,92 [0,83]	0,16
30-Sec-Sit-to-Stand [Anzahl]	9,5 \pm 5,0	6,5 \pm 4,3	0,052
Timed-up-and-go-Test [s]	8,86 [6,34]	16,0 [10,75]	0,004**
Gehgeschwindigkeit (50 Schritte) [m/s]	0,92 [0,41]	0,68 [0,33]	0,002**
Doppelschrittlänge [m]	1,04 [0,36]	0,80 [0,27]	0,001**
Doppelschrittdauer [s]	1,11 [0,1]	1,14 [0,17]	0,08
Max. Schritthöhe [m]	0,12 [0,04]	0,09 [0,05]	0,02*
Räuml. Gangvariabilität	12,1 [8,66]	14,8 [7,88]	0,13
Zeitl. Gangvariabilität	4,8 [3,28]	5,4 [2,29]	0,98

zweiseitige Korrelation * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

4.6 Sturzprädiktoren

4.6.1 Binäre logistische Regression sturzassoziierter Parameter

Um herauszufinden, welche sturz-assoziierten Faktoren sich als Prädiktoren für das Auftreten von Stürzen eignen, wurde eine binäre logistische Regression angewendet. Dabei wurden als unabhängige Variable das Auftreten von Stürzen in den letzten sechs Monaten und als abhängige Variablen verschiedene klinische und motorische Parameter ausgewählt. Diese wurden für die Regression thematisch in Blöcke gruppiert: 1. Klinische Parameter, 2. Gleichgewichtsparameter, 3. und 4. klassische klinische Tests zur Vorhersage der Sturzgefahr (Timed-up-and-go-Test sowie 30-Second-sit-to-stand-Test), 5. Gangparameter (siehe Tabelle 13). Wegen einer Autokorrelation zwischen der Doppelschrittlänge und -dauer mit der Gehgeschwindigkeit, wurde nur die Gehgeschwindigkeit in Block 5 aufgenommen.

Tabelle 13. Blöcke sturz-assoziiierter Parameter.

Block	Parameter	Messinstrument
1	Motorische Krankheitsschwere	MDS-UPDRS Teil 3
	Auftreten von Freezing	MDS-UPDRS Item 3.11
	Nicht-motorische Krankheits-schwere	NMS-Quest
2	Auslenkung a-p	Romberg-Tests (1. Stufe)
	Auslenkung m-l	
	Schwankfläche	
3	Motorische Fähigkeit im Alltag	Timed-up-and-go-Test
4	Kraft in Rumpf und Beinen	30-Second-Sit-to-Stand-Test
5	Gehgeschwindigkeit	Ganganalyse über 50 Schritte
	Schritthöhe	
	Räumliche Gangvariabilität	
	Zeitliche Gangvariabilität	

Über eine Rückwärtsselektion wurden thematisch geordnete Blöcke von Sturfaktoren auf relevante Prädiktoren reduziert. Diese sind in der folgenden Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14. Prädiktoren zu sturzassoziierten Faktoren in Rückwärtsselektion.

Prädiktoren	Statistik einzelner Parameter					Statistik des Blocks			
	B	SF	P-Wert	Exp (B)	95 % KI Exp (B)	R ²	p-Wert	HL	Richtige %
Block 1									
Freezing	1,64	0,85	0,05	5,16	[0,97 – 27,47]	0,47	< 0,001**	0,31	70,3
NMS-Quest	0,27	0,11	0,02*	1,31	[1,05 – 1,63]				
Block 2									
Auslenkung anterior-posterior	0,87	0,4	0,03*	2,81	[1,1 – 5,23]	0,24	0,02*	0,71	66,7
Auslenkung medio-lateral	-1,43	0,71	0,04*	0,24	[0,06 – 0,95]				
Block 3									
Timed-up-and-go-Test	0,12	0,05	0,03*	1,12	[1,01 – 1,24]	0,19	0,01*	0,34	72,5
Block 4									
30-Second-sit-to-stand-Test	-0,15	0,08	0,05	0,86	[0,74 – 1,00]	0,14	0,04*	0,08	52,5
Block 5									
Gehgeschwindigkeit	-4,72	1,65	0,004**	0,01	[0 – 0,23]	0,33	0,001**	0,90	72,5

*p < 0,05; **p < 0,01, B: nicht-standardisierter Regressionskoeffizient B, SF: Standardfehler, KI: Konfidenzintervall, Exp (B): standardisierter Regressionskoeffizient β , R²: R-Quadrat nach Nagelkerke, HL: Hosmer-Lemeshow-Test

Betrachtet man die Ergebnisse aus Block 1, wird ersichtlich, dass das gesamte Modell ($p < 0,001$) sowie der *NMS-Quest* als Prädiktor für das Auftreten von Stürzen signifikant ausfällt. Mit einem Nagelkerke- R^2 von 0,47 ergibt sich so nach Cohen ein starker Effekt ($f = 0,94$)(Cohen 1992). Steigt der NMS-Quest um einen Punkt an, so steigt die relative Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einem Sturzereignis in der Vergangenheit um 31 %.

In Block 2 wurden *Gleichgewichtsparameter* untersucht, wobei das Modell ($p = 0,002$) sowie die Auslenkung in medio-lateraler ($p = 0,04$) und anterior-posteriorer Richtung ($p = 0,03$) signifikante Prädiktoren für das Auftreten von Stürzen darstellen. Nach Cohen besteht eine hohe Effektstärke ($f = 0,56$)(Cohen 1992). Dabei ist von der Richtung der Auslenkung (anterior-posterior oder medio-lateral) abhängig, ob Stürze wahrscheinlich sind, oder nicht. Steigt die Auslenkung anterior-posterior um einen Zentimeter, erhöht sich die relative Wahrscheinlichkeit für einen Sturz um 181 %. Hingegen bei einer Zunahme der Auslenkung medio-lateral um einen Zentimeter, fällt diese Wahrscheinlichkeit um 76 %.

Im dritten Block wurde die Vorhersagekraft des *Timed-up-and-go-Tests* untersucht. Hier liegt Signifikanz für das Modell ($p = 0,01$) sowie für den einzelnen Parameter ($p=0,03$) vor. Mit einer Effektstärke von $f = 0,48$ ist von einem starken Effekt auszugehen (Cohen 1992). Wird für den Timed-up-and-go-Test eine Sekunde mehr benötigt, steigt die relative Wahrscheinlichkeit für ein Sturzereignis um 12 %.

Das Modell des *30-Second-Sit-to-Stand-Test* (Block 4) ist signifikant in der Prädiktion des Auftretens von Stürzen ($p = 0,04$). Nach Cohen liegt eine hohe Effektstärke vor ($f = 0,4$) (Cohen 1992). Der 30-Second-Sit-to-Stand-Test als einzelner Parameter ist jedoch kein signifikanter Prädiktor für das Auftreten von Stürzen.

Die in Block 5 durchgeführte Analyse ergibt ein signifikantes Modell zur Sturzprädiktion des Sturzrisikos ($p = 0,004$). Dabei ist die *Gehgeschwindigkeit* der einzige einflussreiche Parameter. Auch hier kann von einer hohen Effektstärke ausgegangen werden ($f = 0,7$) (Cohen 1992). Steigt die Gehgeschwindigkeit um 1 m/s an, fällt die relative Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Stürzen um 99 %.

5 Diskussion

5.1 Häufigkeit und Umstände von Stürzen

Die Sturzrate von 63 % der Probanden innerhalb eines Jahres passt zu den Angaben eines Reviews, welcher eine Sturzhäufigkeit von 70 % unter den Parkinsonpatienten angibt (Bloem et al. 2004). Weiterhin wird dort beschrieben, dass 50 % der Probanden während eines Jahres wiederkehrend stürzen (mindestens zwei Sturzereignisse), was durch diese Arbeit bestätigt werden konnte. Der erwähnte Review gibt an, dass 20-60 % der Parkinsonpatienten im fortgeschrittenen Stadium oder längerer L-Dopa-Therapie unter Freezing leiden (Bloem et al. 2004). In dieser Untersuchung trat Freezing bei einem Drittel der Probanden bei dem letzten stattgefundenen Sturzereignis auf. Damit ist jenes Gangphänomen die häufigste erhobene Sturzursache dieser Arbeit. Sechs der acht Stürze mit Freezing traten während des Gehens oder Drehens auf. Da angenommen wird, dass bei Freezing spezifische pathophysiologische Entstehungsmechanismen zum Sturz führen (Bloem et al. 2004), leitet sich hier die Fragestellung ab, ob bei den Betroffenen Stürze signifikant häufiger während des Gehens oder Drehens auftreten als bei Nicht-Freezern. Eine weitere ableitbare Fragestellung ist, ob Probanden mit posturaler Instabilität häufiger aus dem Stand stürzen als Probanden ohne posturale Instabilität. Für die Untersuchung beider Hypothesen ist allerdings der gewählte Stichprobenumfang zu gering und lässt Raum für fortführende Untersuchungen.

5.2 Klinische Sturzfaktoren

An einem Sturzgeschehen sind in dieser Stichprobe durchschnittlich $4,5 \pm 1,2$ *Sturzfaktoren* beteiligt, wobei weder die intrinsischen noch die extrinsischen Sturzrisikofaktoren überwiegen. Daraus wird deutlich, dass Stürze beim IPS einem komplexen Konstrukt mit verschiedenen Einflussfaktoren unterliegen. Im Rahmen dieser Studie wurden die folgenden klinischen Faktoren, die im Zusammenhang mit Stürzen relevant sind, detaillierter erfasst: Depression, Malnutrition, kognitive Störungen.

Gemessen am BDI litt in dieser Untersuchung ein Viertel unter einer Subthreshold Depression und weitere 28 % an einer *Depression*. Nur etwa die Hälfte wies keine de-

pressiven Symptome auf. Eine Studie, in der die gleichen Cut-off-Werte des BDIs verwendet wurden, liefert ähnliche Prävalenzen (26 %, 26 %, 48 %) (Reiff et al. 2011). Stürzende und Nicht-Stürzende unterschieden sich nicht signifikant im Ausmaß depressiver Symptome anhand des BDIs. Dafür ist möglicherweise die kleine Anzahl der Stichprobe verantwortlich (Stürzende/Nicht-Stürzende N = 15/17). Robinson und Kollegen gelang hingegen der signifikante Nachweis häufigerer Depressionen unter den Stürzenden als unter den Nicht-Stürzenden (Robinson et al. 2005). Allerdings wurde hier die Depression lediglich über den MDS-UPDRS-Item 3 bestimmt und ist daher nicht direkt mit dem BDI vergleichbar. Ein hoher BDI war in dieser Studie kein Prädiktor für das Auftreten von Stürzen. Demgegenüber steht eine Studie, die Depressionen mittels der Geriatric Depression Scale als Prädiktor für Stürze bei älteren Heimbewohnern ($66 \pm 6,4$ Jahre) nachweisen konnte (Jindal et al. 2019). Jene Probanden litten jedoch nicht am IPS. Dahingehend liegt die Annahme nahe, dass eine Depression keinen wesentlichen Faktor des Sturzgeschehens beim IPS darstellt. Auch annehmbar wäre, dass Depression mehr als eine Folge wiederkehrender Stürze und der damit einhergehenden niedrigeren Lebensqualität ist und nicht als Ursache für Stürze angesehen werden kann. Der Zusammenhang zwischen Depressionen und Stürzen war jedoch nicht Teil der Hauptfragestellung dieser Arbeit und sollte in größeren Kollektiven untersucht werden. Zudem muss die Verlässlichkeit der Ergebnisse des BDIs kritisch betrachtet werden, da ein Teil der Probanden relevante kognitive Einschränkungen vorwiesen. Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Stürzen und Depressionen in weiteren Untersuchungen zu klären, wäre eine Erhebung depressiver Symptome mittels DMS-Kriterien (von engl. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders) oder anderer Depressionsassessments bei Patienten ohne demenzielle Syndrome geeignet.

In der Literatur wird die Prävalenz von *Mangelernährung* unter IPS-Erkrankten mit 0 bis 24 % beschrieben, wobei das Risiko für die Unterernährung mit einer Prävalenz zwischen 3 und 60 % je nach Stichprobenauswahl und Definition von Mangelernährung höher ausfällt (Sheard et al. 2011). In dieser Untersuchung wiesen 46,9 % ein Risiko für eine Mangelernährung auf und 9,4 % waren unterernährt. In einer weiteren Studie, in der ebenfalls der MNA Verwendung fand, waren 2 % der an IPS Erkrankten mangelernährt und bei 26 % bestand das Risiko, eine Malnutrition zu entwickeln (Fereshtehnejad et al. 2014b). Im Vergleich zu dieser Arbeit fallen bei Fereshtehnejad

und Kollegen die Prävalenzen niedriger aus, was möglicherweise mit dem niedrigeren Probandenalter von $61 \pm 10,5$ Jahren (vs. $74,9 \pm 4,5$ Jahre) zu erklären ist. In dieser Studie konnte weder über den BMI und das Serumalbumin noch mittels MNA nachgewiesen werden, dass Stürzende häufiger Mangelernährung aufweisen als Parkinsonpatienten ohne Stürze in der Fallanamnese. Demgegenüber steht eine Untersuchung von fast 3000 älteren Probanden (mind. 65 Jahre) mit häuslicher Pflege, allerdings ohne IPS. Hier sind Stürzende häufiger mangelernährt als Nicht-Stürzende (Meijers et al. 2012). Ob Mangelernährung bei geriatrischen Parkinsonpatienten das Risiko für Stürze erhöht, ist in der Literatur noch nicht belegt. Ein Grund, warum Mangelernährung auch in dieser Studie nicht als Prädiktor für Stürze signifikant ist, könnte sein, dass vielmehr die geriatrischen Syndrome Frailty und Sarkopenie als Folge der Mangelernährung das Sturzrisiko erhöhen (Pfortmueller et al. 2014). Frailty (dtsh.: Gebrechlichkeit) bezeichnet eine erhöhte Vulnerabilität, die beim Auftreten von Stressseinflüssen auf den Betroffenen zu einem erhöhten Risiko für Stürze, Delir und Verlust der Selbstständigkeit führt (Clegg et al. 2013). Sarkopenie beschreibt den Verlust von Muskel- und Körpermasse und der damit einhergehenden Funktionsbeeinträchtigung der Muskulatur bei älteren Menschen (Edwards und Buehring 2015). Diese beiden Syndrome wurden im Rahmen der hiesigen Studie nicht detailliert erhoben und werden auch nicht ausreichend über den MNA erfasst. Es müsste in weiteren Studien überprüft werden, welche Assoziationen zwischen dem Sturzrisiko/ Stürzen und Frailty besteht, indem Frailty (bspw. via Frail Elderly Functional Questionnaire (Gloth et al. 1995) und Sarkopenie (bspw. via Handkraft oder Muskelmasse) spezifisch erfasst werden (Edwards und Buehring 2015). Als einen anderen Grund dafür, warum der MNA als Sturzprädiktor nicht signifikant ist, kann die Größe der Stichprobe angenommen werden ($N = 32$).

Unter den Parkinsonerkrankten weisen laut Literatur etwa 25-30 % eine *Demenz* auf (Aarsland et al. 2005). In dieser Arbeit litten 39 % der Probanden unter einer MCI und 36 % unter einer Parkinson-Demenz. Diese Prävalenzen ähneln denen einer Studie von Tumas und Kollegen an 71 Parkinsonpatienten (36 % bzw. 44 %)(Tumas et al. 2016). Stürzende und Nicht-Stürzende unterschieden sich nicht signifikant in Bezug auf kognitive Beeinträchtigungen in dieser Stichprobe. Wood und Kollegen konnten hingegen zeigen, dass Stürzende einen signifikant niedrigeren MMST-Score aufweisen als Nicht-Stürzende IPS-Probanden und beschreiben Demenz als Risikofaktor für

Stürze bei Morbus Parkinson (Wood et al. 2002). Diese Studie hatte allerdings eine größere Stichprobe an IPS-Patienten ($N = 109$) untersucht. Ein weiterer Erklärungsansatz dafür, warum Stürzende in der durchgeführten Erhebung nicht häufiger unter Kognitions-minderungen leiden, ist, dass eine schwerste Demenz ein Ausschlusskriterium für die Studienteilnahme war. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass eine Demenz u.a. durch Einschränkungen beim Dual-Tasking mit einem erhöhten Sturzrisiko einhergeht (Heinzel et al. 2016, Bekkers et al. 2018).

5.3 Funktionelle, gleichgewichts- und gangassoziierte Sturfaktoren

In Bezug auf das *Gleichgewicht*, war die Auslenkung anterior-posterior die einzige Größe, die sich im sensorbasierten, modifizierten Romberg-Test signifikant zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden unterschied. Hubble und Kollegen beschrieben eine große Auslenkung ebenfalls als Indikatoren für posturale Instabilität oder verminderte posturale Kontrolle (Hubble et al. 2015). Der Arbeitsgruppe um Melzer gelang es hingegen, bei 99 älteren Probanden ohne IPS zu zeigen, dass Stürzende eine größere Schwankfläche ($141,3 \text{ mm}^2$) als Nicht-Stürzende ($103,2 \text{ mm}^2$) aufweisen, wenn sie im aufrechten Stand die Augen geschlossen hielten ($p = 0,002$, Messung via Kraftmessplatten)(Melzer et al. 2010). Dies konnte in der hiesigen Studie mit geriatrischen Parkinsonpatienten nicht bestätigt werden (Stürzende: $154 \text{ mm}^2/\text{s}$; Nicht-Stürzende: $113 \text{ mm}^2/\text{s}$, $p = 0,35$). Denkbar wäre, dass die Schwankfläche bei dieser multimorbiden Probandengruppe generell erhöht ist, jedoch die erhöhte Schwankung nicht verantwortlich für die höhere Sturzrate ist. Eine weitere Begründung, warum hinsichtlich der Schwankfläche kein Gruppenunterschied zu verzeichnen war, wird im Abschnitt 5.4 kritische Betrachtung der Methode diskutiert. Im Block der gleichgewichtsassoziierten Parameter stellen die anterior-posteriore und die medio-laterale Auslenkung signifikante Prädiktoren für Stürze dar. Anders als erwartet, unterschied sich jedoch die Richtung der Prädiktion der beiden Parameter. Mit einer hohen antero-posterioren Auslenkung stieg das Risiko für Stürze, bei einer hohen Auslenkung medio-lateral sank es. Daraus könnte geschlussfolgert werden, dass die medio-laterale Auslenkung eher förderlich für die Wiedererlangung der Balance ist. Dem gegenüber stehen Studien, die eine Assoziation von medio-lateraler Schwankung mit vermehrtem Sturzrisiko bei Parkinsonpatienten beschreiben (Blaszczyk et al. 2007, Rossi-Izquierdo et al. 2016). Hier unterschieden sich allerdings die angewandte Messmethode (Kraftmessplatten)

oder der Versuchsaufbau (kein direkter Vergleich von Stürzenden und Nicht-Stürzenden) von dieser Studie, was die abweichenden Ergebnisse erklärt.

Nicht-Stürzende erreichten im *30-Second-Sit-to-Stand-Test* in dieser Untersuchung im Mittel drei Wiederholungen mehr als die Stürzenden. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Zhao und Kollegen konnten bei älteren Erwachsenen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen Probanden mit und ohne Sturzrisiko im 30-Second-Sit-to-Stand-Test feststellen (Zhao und Chung 2016). Die Arbeitsgruppe um Applebaum zeigte jedoch, dass ein modifizierter 30-Second-Sit-to-Stand-Test, bei dem der Einsatz der Arme erlaubt ist, ein Prädiktor für Stürze bei älteren Männern ohne IPS ist (Applebaum et al. 2017). Dass dies auf Parkinsonpatienten beider Geschlechter übertragbar ist, kann durch diese Studie nicht belegt werden.

Aussagen der Literatur und dieser Arbeit stimmen dahin gehend überein, dass Stürzende signifikant mehr Zeit im *Timed-up-and-go-Test* als Nicht-Stürzende benötigen (Vance et al. 2015, Foreman et al. 2011). Weiterhin konnte der Timed-up-and-go-Test als Prädiktor für das Auftreten von Stürzen und die zu erwartende Sturzanzahl auch in einer anderen Arbeit nachgewiesen werden (Applebaum et al. 2017).

Für Menschen höheren Alters ohne IPS wird angenommen, dass Alterungsprozesse wie die Beeinträchtigung sensorischer und motorischer Funktionen zu Schwierigkeiten in der Gleichgewichtsregulation führen und so u.a. die *Gehgeschwindigkeit* reduzieren (Xie et al. 2016). Ein niedriges selbstgewähltes Gangtempo ist laut Literatur ebenfalls mit dem Auftreten von Stürzen bei Parkinsonpatienten assoziiert (Nemanich et al. 2013). Dabei ist eine Verringerung des Gangtempos mit einer erhöhten Gesamtmortalität (Studenski et al. 2011) und Sturzangst (Maki 1997) assoziiert. Die Arbeitsgruppe um Nemanich fand heraus, dass bei der Wahl einer langsameren Gehgeschwindigkeit, Stürze signifikant häufiger auftreten als bei einem schnellen selbstgewählten Gangtempo (Nemanich et al. 2013). Auch in dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass Stürzende eine niedrigere Gehgeschwindigkeit im selbstgewählten Tempo aufweisen als Nicht-Stürzende. Des Weiteren ist das Gangtempo in dieser Untersuchung der einzige Ganganalyseparameter, der signifikant als Prädiktor für Sturzereignisse ist. Aus der Literatur ist bekannt, dass selbst unter IPS-Patienten ohne bisheriges Sturzereignis eine verringerte Gehgeschwindigkeit ein signifikanter Prädiktor für den ersten Sturz darstellt (Lord et al. 2016).

In dieser Arbeit konnte ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der *Doppelschrittlänge* zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden verzeichnet werden. Dies entspricht den Ergebnissen verschiedener anderer Arbeitsgruppen (Del Din et al. 2017, Creaby und Cole 2018). Zudem ist eine verkürzte Doppelschrittlänge in einer Metaanalyse von 26 Artikeln zu Gangcharakteristik von Parkinsonpatienten als Prädiktor für zukünftige Stürze beschrieben (Creaby und Cole 2018). Die Doppelschrittlänge wie auch die Doppelschrittgeschwindigkeit korrelieren mit der klinischen Bewertung des Gangbilds (Item 29 des motorischen Teils des UPDRS) (Salarian et al. 2004). Mit weiteren motorischen Items des UPDRS (27: Aufstehen vom Stuhl, 28: Haltung, 29: Gang, 30: Haltungsstabilität) konnte außerdem ein signifikanter Zusammenhang zur Doppelschrittlänge gefunden werden.

Die *Doppelschrittdauer* unterscheidet sich bei Stürzenden und Nicht-Stürzenden in dieser Arbeit nicht signifikant. In der Literatur ist dazu lediglich beschrieben, dass eine Korrelation mit der Krankheitsschwere und dem Gleichgewichtsvermögen besteht (Warlop et al. 2016), jedoch finden sich keine Hinweise darauf, dass die Doppelschrittdauer als Prädiktor für Stürze geeignet ist. In dieser Studie wurde die Doppelschrittlänge und -zeit nicht in das logistische Modell der Ganganalyse einbezogen, da eine Autokorrelation mit der Gehgeschwindigkeit gegeben war.

Aus der Literatur ist bekannt, dass u.a. die niedrige *Schritthöhe* (Schritt-Clearance) für die verkürzte Schrittlänge bei Parkinsonpatienten verantwortlich ist (Alcock et al. 2018). Somit wäre denkbar, wenn verkürzte Schritte als Sturzrisikofaktor gelten, dass auch eine verringerte Schritthöhe zu Stürzen führen kann. Dies konnte hier nicht bestätigt werden, da Stürzende und Nicht-Stürzende keine signifikanten Unterschiede in ihrer Schritthöhe aufwiesen und die Schritthöhe außerdem kein Prädiktor für das Auftreten von Stürzen darstellte. Während der Messungen trugen die Probanden Schlaufen an den Füßen, die unter der Schuhsohle entlang verlaufen und die Messsensoren an den Außenknöcheln fixierten. Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass die Probanden durch diesen schmalen Gegenstand unter der Schuhsohle den Fuß anders als gewohnt angehoben haben, um nicht hängen zu bleiben oder auf dem Boden zu schleifen. Somit könnte ein Gruppenunterschied bezüglich der Schritthöhe zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden möglicherweise technisch bedingt verschleiert worden sein. Denkbar wäre, dass eine Abänderung des Gurtsystems, welches die Sensoren oberhalb des Außenknöchels befestigt, diese mögliche

Fehlerquelle minimiert. Alternativ existieren Initialsensormesssysteme, bei denen die Sensoren zur Erfassung der Schrittmaße in spezielle Schuhe integriert sind (Avvenuti et al. 2018).

Weder die räumliche noch die zeitliche *Gangvariabilität* zeigte in dieser Untersuchung signifikante Gruppenunterschiede zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden. Schon seit den 1980er Jahren ist bekannt, dass ältere Erwachsenen mit einer positiven Sturz-anamnese sowohl eine höhere räumliche als auch zeitliche Schrittvariabilität als Gleichaltrige ohne Sturzereignis aufweisen (Guimaraes und Isaacs 1980, Barak et al. 2006). Durch eine Überlebenszeitstudie wurde in Erfahrung gebracht, dass Stürze früher auftreten, wenn zum Zeitpunkt der Ausgangserhebung eine Ganginstabilität vorlag (Hausdorff 2005). Maki und Kollegen beschrieben Ende der 1990er die erhöhte Variabilität der Schrittlänge und -geschwindigkeit als geeignete Prädiktoren für das Auftreten von Stürzen (Maki 1997). Allerdings wurde diese Erhebung mit gesunden älteren Probanden ohne IPS durchgeführt. In einer weiteren Erhebung konnte gezeigt werden, dass stürzende Parkinsonpatienten eine höhere Schrittlängenvariabilität aufweisen als nicht-stürzende Patienten (Del Din et al. 2017). Hierbei fand ein anders Ganganalysesystem Anwendung, bei dem die Bewegung der Probanden lediglich über einen am Rumpf platzierten Sensor erhoben wurde. Eine Verfälschung der Ergebnisse dieser Untersuchung durch die Messung in On-Medikation ist weitestgehend unwahrscheinlich, da keine signifikanten Unterschiede in der Gangvariabilität zwischen On- und Off-Medikationsgruppen nachweisbar sind (König et al. 2016). Auch käme die Größe der verglichenen Gruppen (Stürzende N = 19; Nicht-Stürzende N = 21) als Ursache für die geringen Gruppenunterschiede bezüglich der Gangvariabilität in Betracht (Galna et al. 2013). Damit ist auch zu erklären, dass in dieser Studie weder die räumliche noch die zeitliche Gangzyklusvariabilität als Prädiktor für Sturzereignisse signifikant ist.

Zusammenfassend ist der Zusatzgewinn sensorbasierter motorischer Assessments in Bezug auf die Erhebung des Sturzrisikos eher gering. Die Auslenkung anterior-posterior, die Zeit im Timed-up-and-go-Test, die Gehgeschwindigkeit, die Doppelschrittlänge und -dauer sowie die maximale gemittelte Schritthöhe, die über das Messsystem ermittelt wurden, unterscheiden sich zwar signifikant zwischen den Gruppen, jedoch sind nicht alle Parameter davon signifikante Sturzprädiktoren. Dies gilt lediglich für die

anterior-posteriore Auslenkung, die Zeit im Timed-up-and-go-Test und die Gehgeschwindigkeit. Die letzten beiden Größen lassen sich auch ohne Sensoren bestimmen. Somit ist ein Zusatzgewinn durch ein sensor-basiertes Messsystem bei den funktionellen Tests (Romberg, 30-Second-Sit-to-Stand-Test, Timed-up-and-go-Test) zur Detektion des Sturzrisikos in der untersuchten Kohorte nicht klar ersichtlich. Eine sensorbasierte Ganganalyse liefert genaue Werte, die zwar Gangauffälligkeiten darlegen können, jedoch sind diese zur Sturzprädiktion den klinischen Tests nicht überlegen. Hingegen für eine Verlaufskontrolle vor und nach physiotherapeutischer oder medikamentöser Intervention ist ein größerer Nutzen denkbar. Für die Erhebung von Prodromalsymptomen konnte bereits für die sensor-basierte Ganganalyse ein weiterer Nutzen nachgewiesen werden (Del Din et al. 2019).

5.4 Kritische Betrachtung der Methodik

Im folgenden Abschnitt werden die *Auswahl und die Größe der Stichprobe* diskutiert. Wie in der Literatur beschrieben, erkrankten Männer mit einer 1,9-fach höheren Inzidenz als Frauen am IPS (Wooten et al. 2004). Dies spiegelte sich in der Geschlechterverteilung dieser Stichprobe, in der etwa zwei Drittel der Erkrankten männlich waren. In dieser Untersuchung betrug die Anzahl der Komorbiditäten $5,1 \pm 3,1$ und die Anzahl der eingenommenen Medikamente $8,2 \pm 3,2$ verschiedene Präparate. Zum Vergleich wurden in einer Studie an 147 Parkinsonpatienten $4,4 \pm 2,3$ Komorbiditäten und $6 \pm 2,7$ verschiedene Medikamente bei einem durchschnittlichen Alter von $70,9 \pm 8,6$ Jahren ermittelt (Santos Garcia et al. 2017). Die vermehrten Komorbiditäten und höhere Medikamentenanzahl in dieser Untersuchung sind möglicherweise auf ein höheres durchschnittliches Patientenalter ($74,9 \pm 4,5$) zurückzuführen. Folglich sind die Probanden dieser Stichprobe hinsichtlich ihrer Komorbidität und Polymedikation der Grundgesamtheit der geriatrischen Parkinsonpatienten ähnlich schwer betroffen. Nicht immer war es möglich von allen 40 Probanden einen vollständigen Satz an Fragebögen zu generieren; so konnten bei der Erfassung einer möglichen Depression und des Ernährungsstatus von acht Patienten keine Fragebögen erhoben werden ($N = 32$). Diese Probanden gehören sowohl der Gruppe der Stürzenden als auch den Nicht-Stürzenden an. Ein Einfluss der verringerten Stichprobengröße auf die Signifikanz des Gruppenvergleichs zwischen Stürzenden und Nicht-Stürzenden ist trotzdem nicht auszuschließen.

In diesem Abschnitt sollen nun die *eingesetzten Erhebungsinstrumente* diskutiert werden. Die Zielgröße, die die Probanden zu Stürzenden oder Nicht-Stürzenden gruppiert, ist in dieser Untersuchung das Auftreten mindestens eines Sturzes oder Beinahe-Sturzes in den vergangenen sechs Monaten. Bei dieser retrospektiven Erfragung könnten Verzerrungen durch das Unterschätzen der Sturzanzahl aufgetreten sein, weil Ereignisse nicht mehr rememberlich waren (Cummings et al. 1988). Als weiteres Messinstrument des Sturzrisikos wurde der Fall Risk Questionnaire nach Rubenstein ausgewählt. Da in der aktuellen Datenlage bisher keine deutsche, veröffentlichte und evaluierte Version des FRQ oder ähnlich evaluierter Scores vorliegen, wurde in dieser Untersuchung der FRQ nach Rubenstein in deutscher Übersetzung durch die Autorin eingesetzt (siehe Abschnitt 3.2.5). Diese Version wurde bisher hinsichtlich der Detektion des Sturzrisikos nicht evaluiert und dies war auch nicht Gegenstand der Arbeit. Vielmehr ging es darum, einen praktikablen Score für die deskriptive und explorative Analyse der Kohorte anzuwenden. Demzufolge kann nicht sicher davon ausgegangen werden, dass der FRQ das Sturzrisiko in seiner übersetzten Fassung mit gleicher Sensitivität und Spezifität wie das Original erfasst.

Eine Schwachstelle des Versuchsaufbaus des *modifizierten Romberg-Tests* besteht darin, dass nicht alle Probanden alle vier Schwierigkeitsstufen des Romberg-Tests ohne Hilfe oder Ausfallschritte durchführen konnten. Denkbar wäre, dass Stürzende höhere Schwierigkeitsstufen nicht erreichen und somit auch keine Marker für posturale Instabilität messbar werden. Dagegen spricht allerdings, dass Stürzende und Nicht-Stürzende im Schnitt gleich viele Stufen erreichten und somit von beiden Gruppen vergleichbare Daten vorliegen. Daher scheint die gewählte Stichprobengröße wahrscheinlicher für den fehlenden Gruppenunterschied verantwortlich zu sein. Um Daten aller Schwierigkeitsstufen trotz des Ausfallens von Probanden in höheren Stufen auswerten und vergleichen zu können, wäre eine größere Anzahl an Probanden günstig.

Die Durchführung der *Ganganalyse* fand in dieser Untersuchung auf dem Stationsflur der Neurologie statt. Tragbare Sensoren ermöglichten eine Ganganalyse außerhalb standardisierter Laborbedingungen und konnten so alltagsnäher eingesetzt werden, wenngleich der Stationsflur natürlich nicht alle Alltagssituationen widerspiegelt. Auch das Sturzrisiko kann mittels am Körper platzierter Sensoren besser detektiert werden als in Bewegungslaboren (Ejupi et al. 2014). Vorteilhaft für die Patienten war, dass keine weitere Entfernung zum Ort der Ganganalyse zurückgelegt werden musste und

so die Erschöpfung vor der eigentlichen Ganganalyse minimiert wurde. Nachteilig war, dass eine Ablenkung durch Geräusche des Stationsalltags sowie durch entgegenkommende Personen nicht ausgeschlossen werden konnte. Dieser Einflussfaktor wurde dadurch minimiert, dass die Messungen stets nach 15 Uhr durchgeführt wurden, wenn insgesamt weniger Aktivität auf dem Flur bestand. Eine Evaluation eines vergleichbaren Ganganalysesystems, basierend auf der Messung mit Gyroskopsensoren, ergab eine Sensitivität von 98,6 % für die Erkennung des ersten Fuß-Boden-Kontakt und des terminalen Fuß-Boden-Kontakts (Salarian et al. 2004). Diese Ereignisse definieren einen Gangzyklus und sind somit zentral für die Erhebung von Gangparametern. Mit einer Sensitivität von 99,6 % detektiert das Messsystem Gangzyklen im Vergleich zu einer videobasierten Auszählung (Goldstandard der Bewegungsanalyse). Erste Evaluierungen des angewandten Messsystems hinsichtlich der Gangparameter ergaben eine hohe Intraklassen-Korrelation für die Bestimmung von Ganggeschwindigkeit, Kadenz, Doppelschrittlänge und -dauer in normalem Gangtempo verglichen mit einer Laufbanderhebung. Trotzdem zeigten sich eine geringe Überschätzung der Doppelschrittlänge und -dauer sowie eine niedrige Unterschätzung der Kadenz. Insgesamt wird eine gute Reliabilität und Validität für die Berechnung der Gangparameter beschrieben (Donath et al. 2016a, Donath et al. 2016b).

Abschließend wird die *Übertragbarkeit der Ergebnisse der Stichprobe auf die Population der geriatrischen IPS-Patienten* erörtert. Die Datenerhebung eines Patienten erfolgte im Rahmen seines zweiwöchigen Krankenhausaufenthaltes. Diese Analyse und deren Ergebnisse sind somit auf den hospitalisierten Patienten beschränkt. Daher ist keine Aussage zu Parametern wie bspw. der Gehgeschwindigkeit oder der Schritthöhe im ambulanten oder häuslichen Bereich möglich. Dahingehend existieren Studien, die über einen längeren Zeitraum Gangparameter und das Sturzrisiko über am Körper platzierte Sensoren erhoben und ausgewertet haben (Weiss et al. 2014). Da hier das motorische Assessment in der medikamentösen On-Phase erhoben wurde, kann keine Aussage zu sturzassoziierten Faktoren im Off gemacht werden. Bekannt ist, dass mehr Stürze im Off- als im On-Zustand auftreten (Rascol et al. 2015). König und Kollegen fanden demgegenüber heraus, dass sich die On- und Off-Zustand hinsichtlich der erhobenen Gangparameter nicht signifikant unterscheiden (König et al. 2016). Auf eine Messung im Off wurde aufgrund der höheren Sturzgefahr im Rahmen dieser Studie verzichtet.

Die unabhängige Variable, ob in den letzten sechs Monaten ein Sturz aufgetreten war oder nicht, wurde retrospektiv in einem Fragen erhoben. Bei diesem Design konnten Verfälschungen durch Erinnerungsfehler nicht ausgeschlossen werden. Eine prospektive Erfassung dieser Variable, indem die Probanden über sechs Monate begleitet und Stürze direkt dokumentiert würden, könnte die Gruppierung der Probanden in Stürzende/Nicht-Stürzende verbessern. Aktuell existieren Projekte zur Entwicklung eines digitalen Patiententagebuchs, mit dem tägliche Schwankungen von Symptomen und motorische Parameter sensor-basiert im Alltag erhoben und dokumentiert werden (Hansen et al. 2018). Würden hierbei ebenfalls die motorischen Sturzrisikoprädiktoren erhoben und stattgefunden Stürze dokumentiert werden, könnten mithilfe dieser Daten aus dem ambulanten Setting das häusliche Sturzrisiko genauer bestimmt und die Betreuung der Patienten verbessert werden.

6 Schlussfolgerungen

Stürze bei Parkinsonpatienten sind häufig und entstehen aus dem Zusammenspiel zahlreicher intrinsischer und extrinsischer Sturfaktoren. Diese Studie liefert Ergebnisse für die bislang nur unzureichend untersuchten geriatrischen, hospitalisierten Parkinsonpatienten. Die stürzenden IPS-Patienten litten unter einer größeren Krankheitsschwere (MDS-UPDRS), mehr nicht-motorischen Symptomen (NMS-Quest), einem erhöhten Sturzrisiko (FRQ), sowie mehr Sturzrisikofaktoren als die Nicht-Stürzenden. Basierend auf dem Gruppenvergleich und logistischer Regressionen, zeigte sich, dass diverse Parameter mit Stürzen assoziiert sind. Insgesamt muss konstatiert werden, dass einfache klinische Testverfahren, wie der Timed-up-and-go-Test in ihrer Vorhersagekraft nicht schlechter sind als die sensorbasiert gewonnenen Daten. Es liegt daher die Schlussfolgerung nahe, dass die apparative Ganganalyse im klinischen Setting wenig Zusatzgewinn für die Sturzprädiktion bringt. Die Stärke des Systems läge hingegen in anderen Anwendungen, wie der Messung in der Häuslichkeit oder der longitudinalen Verlaufskontrolle objektiver Gangparameter.

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Aarsland D, Zaccai J, Brayne C. 2005. A systematic review of prevalence studies of dementia in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 20 (10):1255-1263.
- Aarsland D, Creese B, Politis M, Chaudhuri KR, Ffytche DH, Weintraub D, Ballard C. 2017. Cognitive decline in Parkinson disease. *Nat Rev Neurol*, 13 (4):217-231.
- Agrawal Y, Carey JP, Della Santina CC, Schubert MC, Minor LB. 2009. Disorders of balance and vestibular function in US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001-2004. *Arch Intern Med*, 169 (10):938-944.
- Alcock L, Galna B, Perkins R, Lord S, Rochester L. 2018. Step length determines minimum toe clearance in older adults and people with Parkinson's disease. *J Biomech*, 71:30-36.
- Allan LM, Ballard CG, Burn DJ, Kenny RA. 2005. Prevalence and severity of gait disorders in Alzheimer's and non-Alzheimer's dementias. *J Am Geriatr Soc*, 53 (10):1681-1687.
- Allyson Jones C, Wayne Martin WR, Wieler M, King-Jesso P, Voaklander DC. 2012. Incidence and mortality of Parkinson's disease in older Canadians. *Parkinsonism Relat Disord*, 18 (4):327-331.
- Ambrose AF, Paul G, Hausdorff JM. 2013. Risk factors for falls among older adults: a review of the literature. *Maturitas*, 75 (1):51-61.
- Applebaum EV, Breton D, Feng ZW, Ta AT, Walsh K, Chasse K, Robbins SM. 2017. Modified 30-second Sit to Stand test predicts falls in a cohort of institutionalized older veterans. *PLoS One*, 12 (5):e0176946.
- Avvenuti M, Carbonaro N, Cimino M, Cola G, Tognetti A, Vaglini G. 2018. Smart Shoe-Assisted Evaluation of Using a Single Trunk/Pocket-Worn Accelerometer to Detect Gait Phases. *Sensors (Basel)*, 18 (11).
- Barak Y, Wagenaar RC, Holt KG. 2006. Gait characteristics of elderly people with a history of falls: a dynamic approach. *Phys Ther*, 86 (11):1501-1510.
- Barone P, Antonini A, Colosimo C, Marconi R, Morgante L, Avarello TP, Bottacchi E, Cannas A, Ceravolo G, Ceravolo R, Cicarelli G, Gaglio RM, Giglia RM, Iemolo F, Manfredi M, Mecco G, Nicoletti A, Pederzoli M, Petrone A, Pisani A, Pontieri FE, Quatrone R, Ramat S, Scala R, Volpe G, Zappulla S, Bentivoglio AR, Stocchi F, Trianni G, Dotto PD. 2009. The PRIAMO study: A multicenter assessment of nonmotor symptoms and their impact on quality of life in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 24 (11):1641-1649.
- Beck AT, Ward CH, Mendelson M, Mock J, Erbaugh J. 1961. An inventory for measuring depression. *Arch Gen Psychiatry*, 4:561-571.
- Beitz JM. 2014. Parkinson's disease: a review. *Front Biosci (Schol Ed)*, 6:65-74.
- Bekkers EMJ, Dockx K, Devan S, Van Rossom S, Verschueren SMP, Bloem BR, Nieuwboer A. 2018. The Impact of Dual-Tasking on Postural Stability in People With Parkinson's Disease With and Without Freezing of Gait. *Neurorehabil Neural Repair*, 32 (2):166-174.
- Blaszczuk JW. 1998. Motor deficiency in Parkinson's disease. *Acta Neurobiol Exp (Wars)*, 58 (1):79-93.
- Blaszczuk JW, Orawiec R, Duda-Kłodowska D, Opala G. 2007. Assessment of postural instability in patients with Parkinson's disease. *Exp Brain Res*, 183 (1):107-114.
- Bloem BR, Hausdorff JM, Visser JE, Giladi N. 2004. Falls and freezing of gait in Parkinson's disease: a review of two interconnected, episodic phenomena. *Mov Disord*, 19 (8):871-884.

- Bloem BR, Marinus J, Almeida Q, Dibble L, Nieuwboer A, Post B, Ruzicka E, Goetz C, Stebbins G, Martinez-Martin P, Schrag A. 2016. Measurement instruments to assess posture, gait, and balance in Parkinson's disease: Critique and recommendations. *Mov Disord*, 31 (9):1342-1355.
- Cabrerizo S, Cuadras D, Gomez-Busto F, Artaza-Artabe I, Marin-Ciancas F, Malafarina V. 2015. Serum albumin and health in older people: Review and meta analysis. *Maturitas*, 81 (1):17-27.
- Canning CG, Paul SS, Nieuwboer A. 2014. Prevention of falls in Parkinson's disease: a review of fall risk factors and the role of physical interventions. *Neurodegener Dis Manag*, 4 (3):203-221.
- Chaudhuri KR, Martinez-Martin P, Schapira AH, Stocchi F, Sethi K, Odin P, Brown RG, Koller W, Barone P, MacPhee G, Kelly L, Rabey M, MacMahon D, Thomas S, Ondo W, Rye D, Forbes A, Tluk S, Dhawan V, Bowron A, Williams AJ, Olanow CW. 2006. International multicenter pilot study of the first comprehensive self-completed nonmotor symptoms questionnaire for Parkinson's disease: the NMSQuest study. *Mov Disord*, 21 (7):916-923.
- Chen H, Zhang SM, Hernan MA, Willett WC, Ascherio A. 2003. Weight loss in Parkinson's disease. *Ann Neurol*, 53 (5):676-679.
- Chopra MP, Zubritsky C, Knott K, Have TT, Hadley T, Coyne JC, Oslin DW. 2005. Importance of subsyndromal symptoms of depression in elderly patients. *Am J Geriatr Psychiatry*, 13 (7):597-606.
- Clegg A, Young J, Iliffe S, Rikkert MO, Rockwood K. 2013. Frailty in elderly people. *Lancet*, 381 (9868):752-762.
- Cohen J. 1992. A power primer. *Psychol Bull*, 112 (1):155-159.
- Creaby MW, Cole MH. 2018. Gait characteristics and falls in Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. *Parkinsonism Relat Disord*, 57:1-8.
- Cummings SR, Nevitt MC, Kidd S. 1988. Forgetting falls. The limited accuracy of recall of falls in the elderly. *J Am Geriatr Soc*, 36 (7):613-616.
- Del Din S, Galna B, Godfrey A, Bekkers EM, Pelosin E, Nieuwhof F, Mirelman A, Hausdorff JM, Rochester L. 2017. Analysis of free-living gait in older adults with and without Parkinson's disease and with and without a history of falls: identifying generic and disease specific characteristics. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*.
- Del Din S, Elshehabi M, Galna B, Hobert MA, Warmerdam E, Suenkel U, Brockmann K, Metzger F, Hansen C, Berg D, Rochester L, Maetzler W. 2019. Gait analysis with wearables predicts conversion to parkinson disease. *Ann Neurol*, 86 (3):357-367.
- Donath L, Faude O, Lichtenstein E, Nuesch C, Mundermann A. 2016a. Validity and reliability of a portable gait analysis system for measuring spatiotemporal gait characteristics: comparison to an instrumented treadmill. *J Neuroeng Rehabil*, 13:6.
- Donath L, Faude O, Lichtenstein E, Pagenstert G, Nuesch C, Mundermann A. 2016b. Mobile inertial sensor based gait analysis: Validity and reliability of spatiotemporal gait characteristics in healthy seniors. *Gait Posture*, 49:371-374.
- Donini LM, Poggiogalle E, Molfino A, Rosano A, Lenzi A, Rossi Fanelli F, Muscaritoli M. 2016. Mini-Nutritional Assessment, Malnutrition Universal Screening Tool, and Nutrition Risk Screening Tool for the Nutritional Evaluation of Older Nursing Home Residents. *J Am Med Dir Assoc*, 17 (10):959.e911-958.
- Duncan RP, Leddy AL, Earhart GM. 2011. Five times sit-to-stand test performance in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 92 (9):1431-1436.

- Edwards MH, Buehring B. 2015. Novel Approaches to the Diagnosis of Sarcopenia. *J Clin Densitom*, 18 (4):472-477.
- Ejupi A, Lord SR, Delbaere K. 2014. New methods for fall risk prediction. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 17 (5):407-411.
- Emre M, Aarsland D, Brown R, Burn DJ, Duyckaerts C, Mizuno Y, Broe GA, Cummings J, Dickson DW, Gauthier S, Goldman J, Goetz C, Korczyn A, Lees A, Levy R, Litvan I, McKeith I, Olanow W, Poewe W, Quinn N, Sampaio C, Tolosa E, Dubois B. 2007. Clinical diagnostic criteria for dementia associated with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 22 (12):1689-1707; quiz 1837.
- Fasano A, Visanji NP, Liu LW, Lang AE, Pfeiffer RF. 2015. Gastrointestinal dysfunction in Parkinson's disease. *Lancet Neurol*, 14 (6):625-639.
- Fereshtehnejad SM, Ghazi L, Shafieesabet M, Shahidi GA, Delbari A, Lökk J. 2014a. Motor, psychiatric and fatigue features associated with nutritional status and its effects on quality of life in Parkinson's disease patients. *PLoS One*, 9 (3):e91153.
- Fereshtehnejad SM, Ghazi L, Sadeghi M, Khaefpanah D, Shahidi GA, Delbari A, Lökk J. 2014b. Prevalence of malnutrition in patients with Parkinson's disease: a comparative study with healthy controls using Mini Nutritional Assessment (MNA) questionnaire. *J Parkinsons Dis*, 4 (3):473-481.
- Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. 1975. "Mini-mental state". *Journal of Psychiatric Research*, 12 (3):189-198.
- Foreman KB, Addison O, Kim HS, Dibble LE. 2011. Testing balance and fall risk in persons with Parkinson disease, an argument for ecologically valid testing. *Parkinsonism Relat Disord*, 17 (3):166-171.
- Fritsch T, Smyth KA, Wallendal MS, Hyde T, Leo G, Geldmacher DS. 2012. Parkinson disease: research update and clinical management. *South Med J*, 105 (12):650-656.
- Galna B, Lord S, Rochester L. 2013. Is gait variability reliable in older adults and Parkinson's disease? Towards an optimal testing protocol. *Gait Posture*, 37 (4):580-585.
- Gangavati A, Hajjar I, Quach L, Jones RN, Kiely DK, Gagnon P, Lipsitz LA. 2011. Hypertension, orthostatic hypotension, and the risk of falls in a community-dwelling elderly population: the maintenance of balance, independent living, intellect, and zest in the elderly of Boston study. *J Am Geriatr Soc*, 59 (3):383-389.
- Ghazi L, Fereshtehnejad SM, Abbasi Fard S, Sadeghi M, Shahidi GA, Lökk J. 2015. Mini Nutritional Assessment (MNA) is Rather a Reliable and Valid Instrument to Assess Nutritional Status in Iranian Healthy Adults and Elderly with a Chronic Disease. *Ecol Food Nutr*, 54 (4):342-357.
- Gloth FM, 3rd, Walston J, Meyer J, Pearson J. 1995. Reliability and validity of the Frail Elderly Functional Assessment questionnaire. *Am J Phys Med Rehabil*, 74 (1):45-53.
- Goetz CG, Liu Y, Stebbins GT, Wang L, Tilley BC, Teresi JA, Merkitich D, Luo S. 2016. Gender-, age-, and race/ethnicity-based differential item functioning analysis of the movement disorder society-sponsored revision of the Unified Parkinson's disease rating scale. *Mov Disord*, 31 (12):1865-1873.
- Goetz CG, Poewe W, Rascol O, Sampaio C, Stebbins GT, Counsell C, Giladi N, Holloway RG, Moore CG, Wenning GK, Yahr MD, Seidl L. 2004. Movement Disorder Society Task Force report on the Hoehn and Yahr staging scale: status and recommendations. *Mov Disord*, 19 (9):1020-1028.

- Goetz CG, Fahn S, Martinez-Martin P, Poewe W, Sampaio C, Stebbins GT, Stern MB, Tilley BC, Dodel R, Dubois B, Holloway R, Jankovic J, Kulisevsky J, Lang AE, Lees A, Leurgans S, LeWitt PA, Nyenhuis D, Olanow CW, Rascol O, Schrag A, Teresi JA, Van Hilten JJ, LaPelle N. 2007. Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Process, format, and clinimetric testing plan. *Mov Disord*, 22 (1):41-47.
- Gostynski MM. 2001. [Dementia, depression and activity of daily living as risk factors for falls in elderly patients]. *Sozial- und Präventivmedizin*, 46 (2):123.
- Gschwind YJ, Bridenbaugh SA, Kressig RW. 2013. Sturz im Alter. In: Pinter G, Likar R, Schippinger W, Janig H, Kada O, Cernic K, Hrsg. *Geriatrische Notfallversorgung: Strategien und Konzepte*. Vienna: Springer Vienna, 393-409.
- Guigoz Y, Lauque S, Vellas BJ. 2002. Identifying the elderly at risk for malnutrition. The Mini Nutritional Assessment. *Clin Geriatr Med*, 18 (4):737-757.
- Guimaraes RM, Isaacs B. 1980. Characteristics of the gait in old people who fall. *Int Rehabil Med*, 2 (4):177-180.
- Hallett M. 2011. Bradykinesia: why do Parkinson's patients have it and what trouble does it cause? *Mov Disord*, 26 (9):1579-1581.
- Hansen C, Sanchez-Ferro A, Maetzler W. 2018. How Mobile Health Technology and Electronic Health Records Will Change Care of Patients with Parkinson's Disease. *J Parkinsons Dis*, 8 (s1):S41-s45.
- Hausdorff JM. 2005. Gait variability: methods, modeling and meaning. *J Neuroeng Rehabil*, 2:19.
- Heinzel S, Maechtel M, Hasmann SE, Hobert MA, Heger T, Berg D, Maetzler W. 2016. Motor dual-tasking deficits predict falls in Parkinson's disease: A prospective study. *Parkinsonism Relat Disord*, 26:73-77.
- Hellman AM, Shah SP, Pawlowski SM, Duda JE, Morley JF. 2015. Continuous non-invasive monitoring to detect covert autonomic dysfunction in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*, 21 (7):723-728.
- Heremans E, Nieuwboer A, Vercruysse S. 2013. Freezing of gait in Parkinson's disease: where are we now? *Curr Neurol Neurosci Rep*, 13 (6):350.
- Herman T, Mirelman A, Giladi N, Schweiger A, Hausdorff JM. 2010. Executive control deficits as a prodrome to falls in healthy older adults: a prospective study linking thinking, walking, and falling. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 65 (10):1086-1092.
- Hess CW, Okun MS. 2016. Diagnosing Parkinson Disease. *Continuum (Minneap Minn)*, 22 (4 Movement Disorders):1047-1063.
- Hess CW, Hallett M. 2017. The Phenomenology of Parkinson's Disease. *Semin Neurol*, 37 (2):109-117.
- Hobson P, Meara J. 2004. Risk and incidence of dementia in a cohort of older subjects with Parkinson's disease in the United Kingdom. *Mov Disord*, 19 (9):1043-1049.
- Hoehn MM, Yahr MD. 1967. Parkinsonism onset, progression, and mortality. *Neurology*, 17 (5):427-427.
- Hoops S, Nazem S, Siderowf AD, Duda JE, Xie SX, Stern MB, Weintraub D. 2009. Validity of the MoCA and MMSE in the detection of MCI and dementia in Parkinson disease. *Neurology*, 73 (21):1738-1745.
- Horak FB, Mancini M. 2013. Objective biomarkers of balance and gait for Parkinson's disease using body-worn sensors. *Mov Disord*, 28 (11):1544-1551.

- Hubble RP, Naughton GA, Silburn PA, Cole MH. 2015. Wearable sensor use for assessing standing balance and walking stability in people with Parkinson's disease: a systematic review. *PLoS One*, 10 (4):e0123705.
- Iijima M, Kobayakawa T, Saito S, Osawa M, Tsutsumi Y, Hashimoto S, Uchiyama S. 2011. Differences in odor identification among clinical subtypes of Parkinson's disease. *Eur J Neurol*, 18 (3):425-429.
- Jaafar AF, Gray WK, Porter B, Turnbull EJ, Walker RW. 2010. A cross-sectional study of the nutritional status of community-dwelling people with idiopathic Parkinson's disease. *BMC Neurol*, 10:124.
- Jankovic J, McDermott M, Carter J, Gauthier S, Goetz C, Golbe L, Huber S, Koller W, Olanow C, Shoulson I, et al. 1990. Variable expression of Parkinson's disease: a base-line analysis of the DATATOP cohort. The Parkinson Study Group. *Neurology*, 40 (10):1529-1534.
- Jindal HA, Duggal M, Jamir L, Sharma D, Kankaria A, Rohilla L, Avasthi A, Nehra R, Grover S. 2019. Mental health and environmental factors associated with falls in the elderly in North India: A naturalistic community study. *Asian J Psychiatr*, 39:17-21.
- Johnell O, Melton LJ, 3rd, Atkinson EJ, O'Fallon WM, Kurland LT. 1992. Fracture risk in patients with parkinsonism: a population-based study in Olmsted County, Minnesota. *Age Ageing*, 21 (1):32-38.
- Jones CJ, Rikli RE, Beam WC. 1999. A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Q Exerc Sport*, 70 (2):113-119.
- Kashihara K. 2006. Weight loss in Parkinson's disease. *J Neurol*, 253 Suppl 7:Vii38-41.
- Kim SD, Allen NE, Canning CG, Fung VSC. 2018. Parkinson disease. *Handb Clin Neurol*, 159:173-193.
- Konig N, Singh NB, Baumann CR, Taylor WR. 2016. Can Gait Signatures Provide Quantitative Measures for Aiding Clinical Decision-Making? A Systematic Meta-Analysis of Gait Variability Behavior in Patients with Parkinson's Disease. *Front Hum Neurosci*, 10:319.
- Konig N, Singh NB, von Beckerath J, Janke L, Taylor WR. 2014. Is gait variability reliable? An assessment of spatio-temporal parameters of gait variability during continuous overground walking. *Gait Posture*, 39 (1):615-617.
- Krishnan S, Justus S, Meluveetil R, Menon RN, Sarma SP, Kishore A. 2015. Validity of Montreal Cognitive Assessment in non-english speaking patients with Parkinson's disease. *Neurol India*, 63 (1):63-67.
- Kuhn W, Heye N, Muller T, Kraus P, Klotz P, Friedrich B, Welter FL, Przuntek H. 1996. The motor performance test series in Parkinson's disease is influenced by depression. *J Neural Transm (Vienna)*, 103 (3):349-354.
- Kwon KY, Kim M, Lee SM, Kang SH, Lee HM, Koh SB. 2014a. Is reduced arm and leg swing in Parkinson's disease associated with rigidity or bradykinesia? *J Neurol Sci*, 341 (1-2):32-35.
- Kwon Y, Park SH, Kim JW, Ho Y, Jeon HM, Bang MJ, Jung GI, Lee SM, Eom GM, Koh SB, Lee JW, Jeon HS. 2014b. A practical method for the detection of freezing of gait in patients with Parkinson's disease. *Clin Interv Aging*, 9:1709-1719.
- Lamb SE, Jorstad-Stein EC, Hauer K, Becker C. 2005. Development of a common outcome data set for fall injury prevention trials: the Prevention of Falls Network Europe consensus. *J Am Geriatr Soc*, 53 (9):1618-1622.

- Larsson L, Grimby G, Karlsson J. 1979. Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 46 (3):451-456.
- Leentjens AF, Verhey FR, Luijckx GJ, Troost J. 2000. The validity of the Beck Depression Inventory as a screening and diagnostic instrument for depression in patients with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 15 (6):1221-1224.
- Litvan I, Goldman JG, Troster AI, Schmand BA, Weintraub D, Petersen RC, Mollenhauer B, Adler CH, Marder K, Williams-Gray CH, Aarsland D, Kulisevsky J, Rodriguez-Oroz MC, Burn DJ, Barker RA, Emre M. 2012. Diagnostic criteria for mild cognitive impairment in Parkinson's disease: Movement Disorder Society Task Force guidelines. *Mov Disord*, 27 (3):349-356.
- Lord S, Galna B, Yarnall AJ, Coleman S, Burn D, Rochester L. 2016. Predicting first fall in newly diagnosed Parkinson's disease: Insights from a fall-naïve cohort. *Mov Disord*, 31 (12):1829-1836.
- Lucza T, Karadi K, Kallai J, Weintraut R, Janszky J, Makkos A, Komoly S, Kovacs N. 2015. Screening Mild and Major Neurocognitive Disorders in Parkinson's Disease. *Behav Neurol*, 2015:983606.
- Macfarlane DJ, Chou KL, Cheng YH, Chi I. 2006. Validity and normative data for thirty-second chair stand test in elderly community-dwelling Hong Kong Chinese. *Am J Hum Biol*, 18 (3):418-421.
- Maki BE. 1997. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc*, 45 (3):313-320.
- Mancini M, Carlson-Kuhta P, Zampieri C, Nutt JG, Chiari L, Horak FB. 2012. Postural sway as a marker of progression in Parkinson's disease: a pilot longitudinal study. *Gait Posture*, 36 (3):471-476.
- Martinez-Martin P. 1998. An introduction to the concept of "quality of life in Parkinson's disease". *J Neurol*, 245 Suppl 1:S2-6.
- Meijers JM, Halfens RJ, Neyens JC, Luiking YC, Verlaan G, Schols JM. 2012. Predicting falls in elderly receiving home care: the role of malnutrition and impaired mobility. *J Nutr Health Aging*, 16 (7):654-658.
- Melzer I, Kurz I, Oddsson LI. 2010. A retrospective analysis of balance control parameters in elderly fallers and non-fallers. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 25 (10):984-988.
- Moreland JD, Richardson JA, Goldsmith CH, Clase CM. 2004. Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*, 52 (7):1121-1129.
- Morrish PK, Rakshi JS, Bailey DL, Sawle GV, Brooks DJ. 1998. Measuring the rate of progression and estimating the preclinical period of Parkinson's disease with [¹⁸F]dopa PET. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 64 (3):314.
- Nasreddine ZS, Phillips NA, Bedirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, Cummings JL, Chertkow H. 2005. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc*, 53 (4):695-699.
- Nemanich ST, Duncan RP, Dibble LE, Cavanaugh JT, Ellis TD, Ford MP, Foreman KB, Earhart GM. 2013. Predictors of gait speeds and the relationship of gait speeds to falls in men and women with Parkinson disease. *Parkinsons Dis*, 2013:141720.

- Nocera JR, Stegemoller EL, Malaty IA, Okun MS, Marsiske M, Hass CJ. 2013. Using the Timed Up & Go test in a clinical setting to predict falling in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*, 94 (7):1300-1305.
- Nowacka B, Lubinski W, Honczarenko K, Potemkowski A, Safranow K. 2014. Ophthalmological features of Parkinson disease. *Med Sci Monit*, 20:2243-2249.
- Pendlebury ST, Cuthbertson FC, Welch SJ, Mehta Z, Rothwell PM. 2010. Underestimation of cognitive impairment by Mini-Mental State Examination versus the Montreal Cognitive Assessment in patients with transient ischemic attack and stroke: a population-based study. *Stroke*, 41 (6):1290-1293.
- Peters DM, Fritz SL, Krotish DE. 2013. Assessing the reliability and validity of a shorter walk test compared with the 10-Meter Walk Test for measurements of gait speed in healthy, older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 36 (1):24-30.
- Petersen C, Steffen T, Paly E, Dvorak L, Nelson R. 2016. Reliability and Minimal Detectable Change for Sit-to-Stand Tests and the Functional Gait Assessment for Individuals With Parkinson Disease. *J Geriatr Phys Ther*.
- Pfeiffer RF. 2016. Non-motor symptoms in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*, 22 Suppl 1:S119-122.
- Pfortmueller CA, Lindner G, Exadaktylos AK. 2014. Reducing fall risk in the elderly: risk factors and fall prevention, a systematic review. *Minerva Med*, 105 (4):275-281.
- Pickering RM, Grimbergen YA, Rigney U, Ashburn A, Mazibrada G, Wood B, Gray P, Kerr G, Bloem BR. 2007a. A meta-analysis of six prospective studies of falling in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 22 (13):1892-1900.
- Pickering RM, Grimbergen YAM, Rigney U, Ashburn A, Mazibrada G, Wood B, Gray P, Kerr G, Bloem BR. 2007b. A meta-analysis of six prospective studies of falling in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 22 (13):1892-1900.
- Podsiadlo D, Richardson S. 1991. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 39 (2):142-148.
- Postuma RB, Berg D, Stern M, Poewe W, Olanow CW, Oertel W, Obeso J, Marek K, Litvan I, Lang AE, Halliday G, Goetz CG, Gasser T, Dubois B, Chan P, Bloem BR, Adler CH, Deuschl G. 2015. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Mov Disord*, 30 (12):1591-1601.
- Rascol O, Perez-Lloret S, Damier P, Delval A, Derkinderen P, Destee A, Meissner WG, Tison F, Negre-Pages L. 2015. Falls in ambulatory non-demented patients with Parkinson's disease. *J Neural Transm (Vienna)*, 122 (10):1447-1455.
- Reiff J, Schmidt N, Riebe B, Breternitz R, Aldenhoff J, Deuschl G, Witt K. 2011. Subthreshold depression in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 26 (9):1741-1744.
- Rikli R, Jones C. 2001. Senior fitness test manual. Development and validation of a functional fitness test for community-residing older adults Champaign, IL: Human Kinetics.
- Robinson K, Dennison A, Roalf D, Noorigian J, Cianci H, Bunting-Perry L, Moberg P, Kleiner-Fisman G, Martine R, Duda J, Jaggi J, Stern M. 2005. Falling risk factors in Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation*, 20 (3):169-182.
- Romenets SR, Wolfson C, Galatas C, Pelletier A, Altman R, Wadup L, Postuma RB. 2012. Validation of the non-motor symptoms questionnaire (NMS-Quest). *Parkinsonism Relat Disord*, 18 (1):54-58.
- Rossi-Izquierdo M, Soto-Varela A, Ernst A, Rubio-Rodriguez JP, Santos-Perez S, Sesar A, Alberte-Woodward M, Guijarro-Del Amo M, Roman-Rodriguez ES, Faraldo-Garcia A, Zubizarreta-Gutierrez A, Basta D. 2016. What Could

- Posturography Tell Us About Balance Problems in Parkinson's Disease? *Otol Neurotol*, 37 (9):e326-331.
- Rubenstein LZ. 2006. Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age Ageing*, 35 Suppl 2:ii37-ii41.
- Rubenstein LZ, Josephson KR. 2002. The epidemiology of falls and syncope. *Clin Geriatr Med*, 18 (2):141-158.
- Rubenstein LZ, Vivrette R, Harker JO, Stevens JA, Kramer BJ. 2011. Validating an evidence-based, self-rated fall risk questionnaire (FRQ) for older adults. *Journal of Safety Research*, 42 (6):493-499.
- Salarian A, Russmann H, Vingerhoets FJ, Dehollain C, Blanc Y, Burkhard PR, Aminian K. 2004. Gait assessment in Parkinson's disease: toward an ambulatory system for long-term monitoring. *IEEE Trans Biomed Eng*, 51 (8):1434-1443.
- Salonen L, Kivela SL. 2012. Eye diseases and impaired vision as possible risk factors for recurrent falls in the aged: a systematic review. *Curr Gerontol Geriatr Res*, 2012:271481.
- Santos Garcia D, Suarez Castro E, Exposito I, de Deus T, Tunas C, Aneiros A, Lopez Fernandez M, Nunez Arias D, Bermudez Torres M. 2017. Comorbid conditions associated with Parkinson's disease: A longitudinal and comparative study with Alzheimer disease and control subjects. *J Neurol Sci*, 373:210-215.
- Schwesig R, Leuchte S, Fischer D, Ullmann R, Kluttig A. 2011. Inertial sensor based reference gait data for healthy subjects. *Gait Posture*, 33 (4):673-678.
- Shah J, Pillai L, Williams DK, Doerhoff SM, Larson-Prior L, Garcia-Rill E, Virmani T. 2018. Increased foot strike variability in Parkinson's disease patients with freezing of gait. *Parkinsonism Relat Disord*, 53:58-63.
- Sheard JM, Ash S, Silburn PA, Kerr GK. 2011. Prevalence of malnutrition in Parkinson's disease: a systematic review. *Nutr Rev*, 69 (9):520-532.
- Shulman LM, Taback RL, Rabinstein AA, Weiner WJ. 2002. Non-recognition of depression and other non-motor symptoms in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*, 8 (3):193-197.
- Siragy T, Nantel J. 2018. Quantifying Dynamic Balance in Young, Elderly and Parkinson's Individuals: A Systematic Review. *Front Aging Neurosci*, 10:387.
- Stubbs B, Schofield P, Binnekade T, Patchay S, Sepehry A, Eggermont L. 2014. Pain is associated with recurrent falls in community-dwelling older adults: evidence from a systematic review and meta-analysis. *Pain Med*, 15 (7):1115-1128.
- Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, Brach J, Chandler J, Cawthon P, Connor EB, Nevitt M, Visser M, Kritchevsky S, Badinelli S, Harris T, Newman AB, Cauley J, Ferrucci L, Guralnik J. 2011. Gait speed and survival in older adults. *Jama*, 305 (1):50-58.
- Sturnieks DL, St George R, Lord SR. 2008. Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin*, 38 (6):467-478.
- Torbey E, Pachana NA, Dissanayaka NNW. 2015. Depression rating scales in Parkinson's disease: A critical review updating recent literature. *Journal of Affective Disorders*, 184:216-224.
- Tumas V, Borges V, Ballalai-Ferraz H, Zabetian CP, Mata IF, Brito MMC, Foss MP, Novaretti N, Santos-Lobato BL. 2016. Some aspects of the validity of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) for evaluating cognitive impairment in Brazilian patients with Parkinson's disease. *Dement Neuropsychol*, 10 (4):333-338.

- van der Marck MA, Dicke HC, Uc EY, Kentin ZH, Borm GF, Bloem BR, Overeem S, Munneke M. 2012. Body mass index in Parkinson's disease: a meta-analysis. *Parkinsonism Relat Disord*, 18 (3):263-267.
- Vance RC, Healy DG, Galvin R, French HP. 2015. Dual tasking with the timed "up & go" test improves detection of risk of falls in people with Parkinson disease. *Phys Ther*, 95 (1):95-102.
- Vellas B, Villars H, Abellan G, Soto ME, Rolland Y, Guigoz Y, Morley JE, Chumlea W, Salva A, Rubenstein LZ, Garry P. 2006. Overview of the MNA--Its history and challenges. *J Nutr Health Aging*, 10 (6):456-463; discussion 463-455.
- Viccaro LJ, Perera S, Studenski SA. 2011. Is timed up and go better than gait speed in predicting health, function, and falls in older adults? *J Am Geriatr Soc*, 59 (5):887-892.
- Vivrette RL, Rubenstein LZ, Martin JL, Josephson KR, Kramer BJ. 2011. Development of a fall-risk self-assessment for community-dwelling seniors. *J Aging Phys Act*, 19 (1):16-29.
- Wahid F, Begg RK, Hass CJ, Halgamuge S, Ackland DC. 2015. Classification of Parkinson's Disease Gait Using Spatial-Temporal Gait Features. *IEEE J Biomed Health Inform*, 19 (6):1794-1802.
- Warlop T, Detrembleur C, Bollens B, Stoquart G, Crevecoeur F, Jeanjean A, Lejeune TM. 2016. Temporal organization of stride duration variability as a marker of gait instability in Parkinson's disease. *J Rehabil Med*, 48 (10):865-871.
- Weiss A, Herman T, Giladi N, Hausdorff JM. 2014. Objective assessment of fall risk in Parkinson's disease using a body-fixed sensor worn for 3 days. *PLoS One*, 9 (5):e96675.
- Winge K. 2015. Lower urinary tract dysfunction in patients with parkinsonism and other neurodegenerative disorders. *Handb Clin Neurol*, 130:335-356.
- Wirdefeldt K, Adami HO, Cole P, Trichopoulos D, Mandel J. 2011. Epidemiology and etiology of Parkinson's disease: a review of the evidence. *Eur J Epidemiol*, 26 Suppl 1:S1-58.
- Wood BH, Bilclough JA, Bowron A, Walker RW. 2002. Incidence and prediction of falls in Parkinson's disease: a prospective multidisciplinary study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 72 (6):721-725.
- Wooten GF, Currie LJ, Bovbjerg VE, Lee JK, Patrie J. 2004. Are men at greater risk for Parkinson's disease than women? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 75 (4):637-639.
- Xie YJ, Liu EY, Anson ER, Agrawal Y. 2016. Age-Related Imbalance Is Associated With Slower Walking Speed: An Analysis From the National Health and Nutrition Examination Survey. *J Geriatr Phys Ther*.
- Yarnall AJ, Sayer AA, Clegg A, Rockwood K, Parker S, Hindle JV. 2017. New horizons in multimorbidity in older adults. *Age Ageing*, 46 (6):882-888.
- Zhang Z, Pereira SL, Luo M, Matheson EM. 2017. Evaluation of Blood Biomarkers Associated with Risk of Malnutrition in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 9 (8).
- Zhao Y, Chung PK. 2016. Differences in Functional Fitness Among Older Adults With and Without Risk of Falling. *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)*, 10 (1):51-55.

8 Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Folgen von Stürzen beim IPS (modifiziert nach Bloem 2004).....	5
Abbildung 2. Maße eines Gangzyklus.	8
Abbildung 3. Sturzanamnese.....	16
Abbildung 4. modifizierter Fall Risk Questionnaire.	18
Abbildung 5. Messsystem RehaGait®.....	22
Abbildung 6. Anzahl der Stürze in den letzten 12 Monaten und ihre Häufigkeit.	28

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Intrinsische und extrinsische, geriatrische Sturzrisikofaktoren.....	5
Tabelle 2. Messgrößen der Gang- und Gleichgewichtsanalyse.....	7
Tabelle 3. Übersicht klinischer und motorischer Assessments.....	12
Tabelle 4. modifizierte Stadien nach Hoehn und Yahr (Goetz et al. 2004).	13
Tabelle 5. Fußpositionen im Romberg-Test.....	23
Tabelle 6. Klinische Merkmale der Stichprobe.....	27
Tabelle 7. Häufigkeitsverteilung der Tätigkeiten während des letzten Sturzes.	29
Tabelle 8. absteigende Häufigkeiten von aufgetretenen Sturfaktoren.	30
Tabelle 9. motorische Parameter der Probanden und alters- und geschlechtskorrespondierende minimale und maximale Referenzwerte...	31
Tabelle 10. klinische Parameter im Gruppenvergleich.	33
Tabelle 11. Häufigkeitsverteilung des Romberg-Tests.	34
Tabelle 12. motorische Parameter im Gruppenvergleich.....	36
Tabelle 13. Blöcke sturz-assoziiierter Parameter.	37
Tabelle 14. Prädiktoren zu sturzassoziierten Faktoren in Rückwärtsselektion.	38

8.3 Danksagung

Bildung ist das, was übrig bleibt,
wenn wir vergessen, was wir gelernt haben.

(Edward Frederick Lindley Wood)

An erster Stelle möchte ich meinem Betreuer PD Dr. med. Prell für die geduldige und produktive Unterstützung meiner Promotion danken. Ein besonderer Dank gilt vor allem meinen Eltern sowie Partner, Familie und Freunden, die mir während des Studiums und dem Schreiben dieser Arbeit weit mehr als moralischen Beistand geleistet haben. Den vierzig Parkinsonpatienten danke ich für die Teilnahme an dieser Studie und bin froh vieles von ihnen gelernt zu haben.

8.4 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass

mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: PD Dr. med. Tino Prell (Klinik für Neurologie, Universitätsklinikum Jena), Dr. phil. Steffen Derlien (Institut für Physiotherapie, Universitätsklinikum Jena), Dr.-Ing. Heike Hoyer (Instituts für Medizinische Statistik, Informatik und Datenwissenschaften), Antonia und Lotta Böthig und Christian Uschmann,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 01.10.2019